

軟弱地盤上の堤防整備(三日市地区)における 施工効率向上の取り組みについて

石井 啓介¹

¹近畿地方整備局 大和川河川事務所 調査課 (〒582-0009大阪府柏原市大正2-10-8)

由良川流域では、上流域で河川勾配がきつく中下流域で緩くなるという河川条件から、これまで洪水によって中下流域で浸水被害が頻発している。とくに昭和28年の台風13号や昭和34年の伊勢湾台風、近年では平成16年の台風23号や平成25年の台風18号等によって甚大な浸水被害が発生した。このような背景のもと、中流域及び下流域において連続堤防や宅地嵩上げ、輪中堤防の整備が急ピッチで進められている。本報文では、築堤整備の早期の効果発現を目的とした急速盛土の可能性について、試験盛土によって検証した結果を報告する。あわせて、軟弱地盤上の地盤対策工の留意点を報告する。

キーワード 試験盛土, 急速施工, 堤防安定性, 地盤変状, i-Construction

1. はじめに

由良川は、その源を京都府、滋賀県、福井県の境の三国岳(標高959m)に発し、福知山市内を流下し舞鶴市と宮津市の市境において日本海に注ぐ幹川流路延長146km、流域面積1,880km²の一級河川である(図-1)。由良川は、上流域で河川勾配がきつく中下流域で緩くなること(図-2)、また下流域では川幅が狭くなる狭窄部があること等から、浸水被害が発生しやすい地形となっている。近年では、平成25年18号台風で福知山地点で観測史上最高の水位に達し甚大な被害が発生した(表-1)。

このような状況を背景に、福知山河川国道事務所では堤防整備(連続堤、輪中堤の整備)や周辺家屋の浸水対策(宅地嵩上げ)を実施している。



図-1 由良川の位置

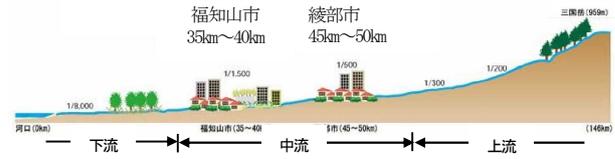


図-2 由良川の縦断勾配¹⁾

表-1 由良川流域の既往浸水被害²⁾

発生年月日	原因	洪水流量 (m ³ /s) 福知山地点	被害の状況
昭和28年9月25日	台風13号	6,500	死者・行方不明者37人、床上浸水5,307戸、床下浸水2,458戸
昭和34年9月26日	台風15号	4,384	死者・行方不明者3人、床上浸水4,455戸、床下浸水2,450戸
昭和36年10月28日	台風26号	2,402	床上浸水767戸、床下浸水1,540戸
昭和40年9月17日	秋雨前線 台風24号	2,833	床上浸水411戸、床下浸水1,534戸
昭和47年9月16日	台風20号	4,063	床上浸水527戸、床下浸水1,024戸
昭和57年8月1日	台風10号	3,636	床上浸水40戸、床下浸水65戸
昭和58年9月28日	台風10号	3,608	床上浸水23戸、床下浸水49戸
平成16年10月20日	台風23号	5,285	死者5人、床上浸水1,251戸、床下浸水418戸
平成23年9月21日	台風15号	3,188	床下浸水4戸
平成25年9月16日	台風18号	5,390	床上浸水1,102戸、床下浸水500戸
平成26年8月16日	秋雨前線 (集中豪雨)	3,530	床上浸水1,586戸、床下浸水1,712戸(弘法川・法川流域)

このような背景の中、福知山河川国道事務所では緊急的な治水対策を実施しており、下流部では輪中堤を整備している。このうち、軟弱地盤が厚く分布する三日市地区では、整備効果の早期発現、施工効率向上を目的として、急速施工による試験盛土を実施し、堤防の安定性や周辺地盤への影響について検討を行った。本稿では、そ

の結果について報告する。

2. 試験盛土箇所の地盤状況

試験盛土実施箇所である三日市地区の輪中堤計画位置を図-3に、地盤状況を図-4に示す。

当地区では、沖積土層がGL-25m～-35mまで分布している。層相は粘性土(Ac)と砂質土(As)の互層である。試験盛土箇所は、この中でもとくに粘土層が厚く分布し、圧密沈下量及び安定性に対して不利な箇所を選定した。なお、試験盛土箇所の周辺は民家や埋設管等の保全物件がない場所である。

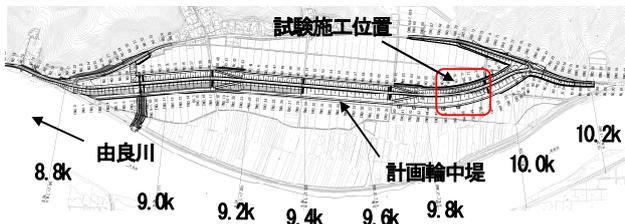


図-3 三日市地区 (右岸8.8k～10.2k)

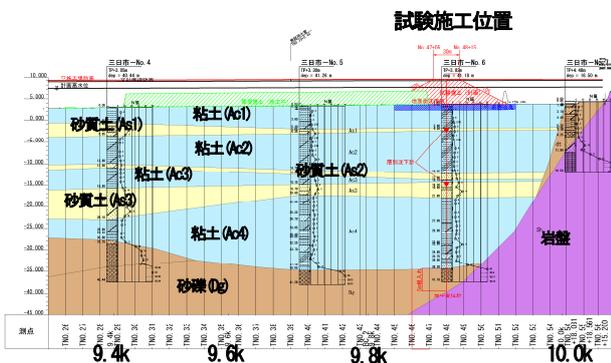


図-4 土質断面図 (三日市地区上流部)

3. 築堤に伴う対策工の必要性

輪中堤は現在の地盤高からおよそ6m盛土される計画である。設計時の対策工検討結果を以下に示す。

(1) 圧密沈下

圧密沈下量は、一次元圧密計算で求めた。軟弱層厚が薄い山際を除けば、圧密沈下量はおよそ0.8m～1.0mとなる(表-2)。目標値とした残留沈下量30cmまでは、盛土後1年以内となることから、沈下対策(圧密促進工法、地盤改良工法等)は必要ないと判断した。

なお、残留沈下量の目標値は、当該地区の堤防余盛量(法肩地点)を30cmにしていること、及び河川土工マニュアルでは当該地区の盛土高の場合、30cm～40cmが標準的な余盛量となるためである。

表-2 圧密沈下量一覧

検討測点		No.2	No.7	No.17	No.28	No.39	No.48	No.55
最終沈下量(cm)		28	92	90	82	96	93	17
圧密度 U=90%	沈下量 (cm)	25	83	81	74	87	84	15
	残留沈下量 (cm)	3	9	9	8	9	9	2
	時間(day)	275	481	423	420	605	596	173
盛土完了1年後	沈下量 (cm)	27	83	83	75	81	79	17
	残留沈下量 (cm)	1	9	7	7	15	14	0
対策工の要否		不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要

(2) すべり破壊、パイピング破壊

堤防の安定性については、「河川堤防の構造検討の手引き、H24.2」に準じて検討を行った。計算結果を表-3に示す。

なお、計算地点は比較的透水性が高いAs1層が浅い位置に厚く堆積しており、パイピング破壊やすべり破壊に対して最も厳しい断面(No.17地点、距離標9.1k付近)を選定した。

表-3 安定計算結果一覧

検討地点	ケース名	すべり安全率				備考	
		川裏		川表			
		照査基準	安全率	照査基準	安全率		
No.17	平水位	現況	0.85	1.0	0.86		
		対策工	1.22		1.20		浅層改良1.0m
	洪水時	現況	0.73	1.0	0.74		
		対策工	1.39		1.43		
検討地点	ケース名	局所動水勾配					
		鉛直iv	水平ih	照査基準			
No.17	洪水時 現況	0.19	0.33	0.5以下			

計算の結果、すべり破壊に対して対策工が必要と判断された。パイピング破壊(局所動水勾配)に対しては対策不要となった。

対策工は、せん断強度を増加させる目的で置換え工(深さ2m置換え)と浅層改良工の2工法が選定され、比較検討の結果、地盤改良(セメント改良)を最適工法として選定した。置換え工法は、発生土の運搬・処分費が必要となることから、経済性の面で大きく不利となった。

4. 試験盛土の観測計画と施工状況

(1) 観測機器の設置

観測機器は、安定管理、圧密沈下、周辺地盤の変状確認を目的として設置した。表-4に観測機器とそれぞれの目的を示し、以下に設置平面図、断面図を示す。

表-4 観測機器一覧と目的

計器	目的
沈下板	盛土厚の管理、盛土速度のコントロールを行う。また、変位杭と併せて安定管理図の作成を行う。
変位杭	安定管理のデータとして活用する。また、変位の及ぶ影響範囲も把握する。
層別沈下計	どの地層まで沈下が発生するかを把握するために設置する。沈下解析の検証データにも活用できる。
地中変位計	深部の変状状況を把握することを目的とする。盛土直下は地盤改良を実施するため、変位杭では把握できない深部での地盤変形が懸念される。

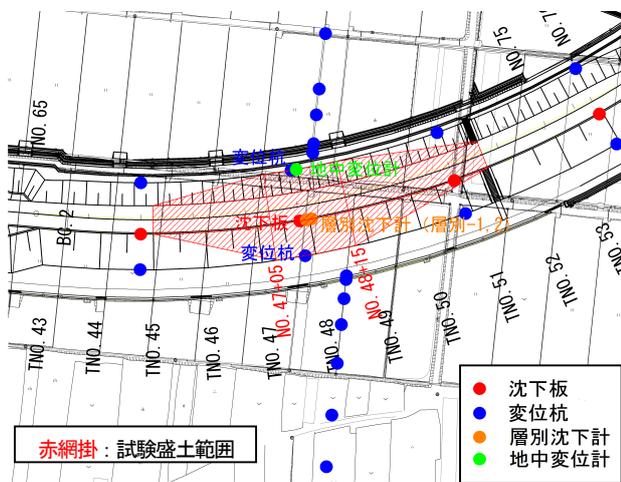


図-5 観測機器の設置平面図

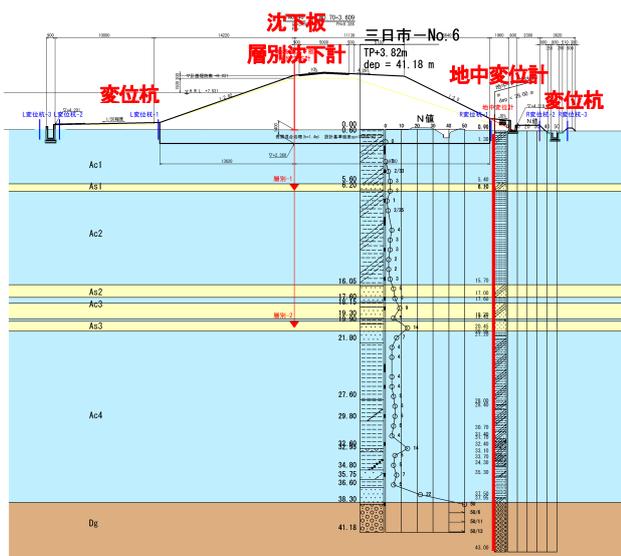


図-6 観測機器の設置断面図 (測点 No. 48)

(2) 試験盛土の施工

通常、軟弱地盤における盛土速度は $v=10\text{cm/day}$ 以下であるが、表層改良を実施していること、及び早期の築堤完了を目的として、盛土速度は最大 30cm/day とした。ただし、実際には荒天の影響や作業休止日の確保、その他の調整もあり盛土全期間で平均すると $v=15\text{cm/day}$ 程度となった。

なお、安定管理図上危険な状態になった場合は盛土を休止する、あるいは速度を落とす対応とした。施工状況は以下のとおりである。

- ・盛土高さ：6.3m (図-7参照)
- ・盛土速度：最大 30cm/day
- ・軟弱地盤対策：浅層セメント改良
(深さ1.4m, 改良強度： $q_u=140\text{kN/m}^2$)
- ・改良方法：バックホウによる現地攪拌混合
- ・盛土材料：粘性土質砂質礫
- ・締固め度 D_c ：平均90% (下限値80%)
- ・動態観測頻度：毎日 (盛土施工日)

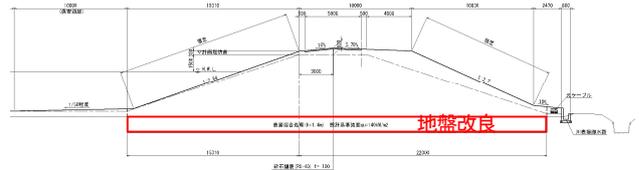


図-7 試験盛土一般図

5. 試験盛土結果

松尾・川村の管理図等で管理した結果 (図-8), 盛土法尻の水平変位量等小さく、安定して盛土を完了した。松尾・川村の管理図による P_j/P_f は0.6程度であり、すべり安全率は $F_s=1.66$ 程度と推察された。設計時に検討したすべり計算では安全率が $F_s=1.22$ であったことから、想定よりも安定度は高かった。なお、地中変位計の水平変位は $\pm 13\text{mm}$ 以内で変位量も抑制されていた。

沈下量は、盛土立ち上がり時で 40cm 程度であり、双曲線法による最終沈下量は 92cm 程度と推察された。当初設計時の沈下量 (表-2) と概ね整合する (図-9) が、実際にはAc1層をセメント改良として置き換えているため、想定よりもやや大きな圧密沈下が発生している。

周辺地盤の変位量は、堤防から山側で 35m 、川側で 23m 程度の範囲である (図-10)。軟弱粘土層厚がおよそ 30m であるため、影響範囲は軟弱層厚の $0.8\sim 1.2$ 倍となった。一般的に軟弱層厚の2倍程度が影響範囲と言われていることから、想定よりも地盤変位量が小さい結果となった。

なお、保全物件に対する地盤変状の影響は、水田に対しては問題がないものの、盛土に近接して家屋がある

場合は注意が必要である（一部許容値をオーバー）。

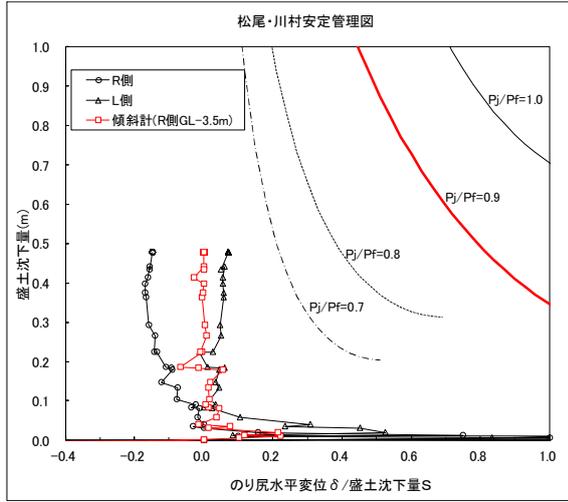


図-8 松尾・川村の安定管理図 (No. 48断面)

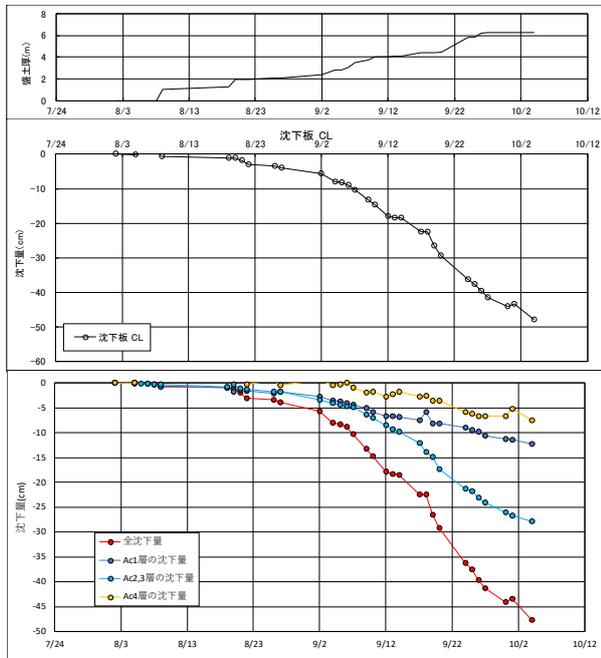


図-9 盛土厚と沈下量 (盛土中央)

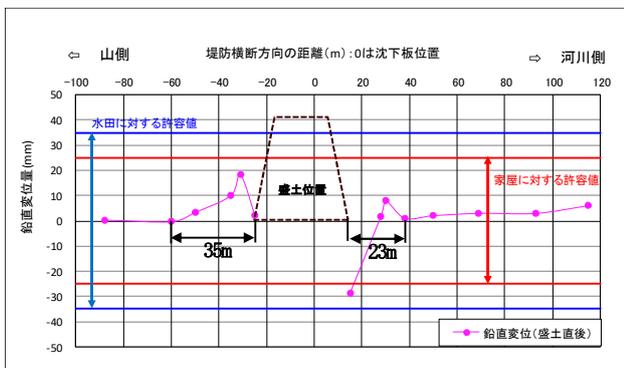


図-10 周辺地盤の鉛直変位量 (盛土立ち上がり時)

6. 本施工での施工効率化

試験盛土の結果，急速施工が可能と判断できた．本施工でのさらなる効率化として以下の事項を実施した．

(1) 動態観測の効率化と役割分担

施工時の動態観測は堤防延長方向に60mピッチで安定管理を実施し，その他，近接する保全物件（家屋，府道）や田面について変状観測を実施した．由良川下流域は軟弱地盤が厚いため，他の地区では詳細な地盤変状の把握を目的として，ほぼ全ての観測地点で3次元計測を実施していたものの，当地点では必要な箇所のみ3次元計測を行い，その他の地点では鉛直方向のみの計測を行った．3次元計測を実施した箇所は，盛土安定管理に用いる盛土中央及び盛土端部の観測点，及び家屋の観測点（合計120点の内，80点）とした．

また，観測やデータ整理，安定性の判断等を施工業者や設計コンサルで作業分担を行うとともに，観測データのダブルチェックを行った（図-11）．

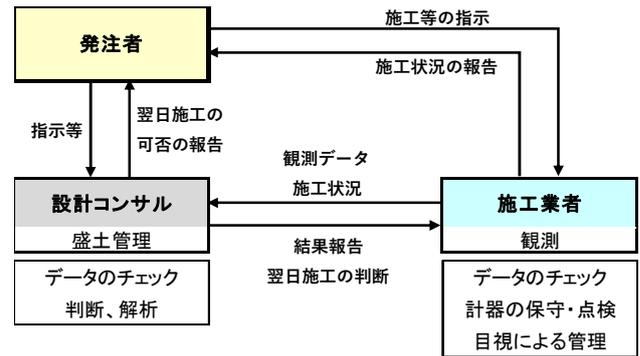


図-11 施工時の役割と監視体制

(2) 搬入路の増設

築堤材の現地搬入は，試験盛土前では下流部の1箇所から，日当たり100台強のダンプトラックで搬入を行っていた．しかしながら，急速施工を実施し1期で盛土を完了させるには，日当たり300台から400台のダンプトラックによる搬入が必要であった．スパッツ（タイヤ洗浄機）の処理能力が日当たり最大300台であること，及び当地区までのアプローチ道路が狭小でダンプが離合できないことが大きな課題となった．

この課題に対して，地区上流部の府道から築堤箇所への仮設道路を整備し，当初下流部のみであった搬入路を上流部にも設けることで，ダンプトラックの搬入可能台数を増やした．実績として，日350台の築堤材搬入を行い急速施工を行った．

7. 地盤改良に関する留意点

今回、軟弱地盤対策工としてセメントによる地盤改良を行った。今回の試験盛土及び隣接地区で生じた問題点も含め、以下に地盤改良における留意点を記載する。

(1) 地盤とのなじみを考慮した対策工

当地区では低強度の地盤改良とした。地盤改良の比較検討においてはコストや施工性を比較し、改良強度や改良厚さ等を選定するが、今回は地盤とのなじみに留意して低強度改良を選定した。低強度とすることで地盤変形に追随（変形）し、未改良部との接触面で隙間が生じにくいこと、及び改良体の下位に分布する軟弱粘土層の強度も上げることができる。地盤改良の強度を大きくした場合は、改良部の剛性が高いことから変形が小さく、下位の粘土層の圧密沈下が抑制され強度増加も抑制される可能性がある。とくに、改良体の厚さが薄い場合は、盛土終了後、想定以上の外力が発生し改良部が破壊した場合、大きなすべり破壊が発生するリスクがある。

(2) 対策工境界のクラックの発生

当地区の地盤改良は、浅層改良ではあるが盛土下全幅改良を実施した。他の地区では、家屋等の保全物件の近接状況によって地盤改良の仕様を部分的に変更しているケースがある。このような施工境界では、築堤後に圧密沈下量の差異が発生し、堤体にクラックが生じる可能性がある（写真-1）。とくに堤防横断方向に連続するクラックが発生した場合、堤外側から堤内側への水みちとなるため注意が必要である。対策としては、プレロード期間の確保や対策仕様の均一化、地盤改良境界における緩衝区間の設置等が挙げられる。



写真-1 地盤改良の境界に発生したクラック（隣接工区）

8. まとめ

今回の試験盛土の結果、軟弱地盤が厚い地区においても盛土速度30cm/dayで安定した施工ができた。この結果、当地区の残りの築堤区間においても盛土速度を早くすることが可能となり、次回出水期までに築堤が完了できることとなった。

いわゆる軟弱地盤上での盛土施工においては、今回のように状況に応じ沈下を許容する改良形式を選定し、適切な動態観測をすることで工期の短縮を図ることが可能となる。その他、施工計画の工夫や安定した盛土材の確保、ICT技術を活用した品質の高い施工等によって、施工スピードや生産性向上、コスト縮減を図ることが可能と考えられる。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局：由良川水系河川整備計画 H25.6
- 2) 近畿地方整備局：平成 28 年度第 3 回事業評価監視委員会

嵐山地区可動式止水壁の整備について

山下 航平¹・能登 眞澄²

¹近畿地方整備局 近畿技術事務所 施工調査・技術活用課 (〒573-0168大阪府枚方市山田池北町11-1)

²近畿地方整備局 淀川河川事務所 施設管理課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

京都市桂川嵐山地区は日本でも有数の観光地・景勝地であり毎年多くの観光客が訪れる一方、渡月橋上流左岸ではたびたび浸水被害が発生している。こうした状況を受けて特殊堤の整備を行うこととなったが、嵐山地区の特性上、景観及び文化財に配慮する必要があった。そこで洪水時のみ止水壁を立ち上げることで普段の景観を阻害しない構造を検討した。本稿は、全国初の構造である「可動式止水壁」の構造の検討・設計内容について報告するものである。

キーワード 可動式止水壁, 特殊堤, 全国初, 左岸溢水対策

1. 嵐山地区の概要

嵐山地区は、淀川の支流である桂川の直轄区間上流に位置し、直轄河川では唯一、川を含む地区全体が国の史跡及び名勝に指定されている。また、国内だけでなく海外からの観光客も多い日本でも有数の観光地である。特に渡月橋上流左岸は春には桜、秋には紅葉が桂川の水面に映り、人気スポットの一つとなっている。

一方治水の観点から嵐山地区を見ると、渡月橋付近の川幅は狭く流下断面が不足している。特に、渡月橋上流左岸は地盤高がH.W.L.を下回っている部分もあり(図-1)、近年では毎年のように浸水被害が発生しており、特に平成25年の台風18号による洪水では、93戸が浸水被害を受けるなど大きな被害となった(図-2)。



図-1 渡月橋上流左岸の状況



図-2 平成25年台風18号の洪水状況

渡月橋上流左岸の溢水対策として、当初は H.W.L.までの道路かさ上げと固定パラペットによる対策を提案していた。しかし、簡易模型の固定パラペットにて地元住民と共に景観の影響を確認したところ、現在見えている桂川の水面が固定パラペットで見えなくなるため、洪水時のみに立ち上げを行う止水壁の検討を求める地元意見や、史跡及び名勝としての価値を損なわない河川整備も求める文化財部局の要請を踏まえ、可動式止水壁の整備を検討することとなった。

2. 可動式止水壁の構造検討

(1) 可動式止水壁の検討条件

可動式止水壁の検討にあたっては、現状の景観を大きく変えてしまうような構造にできないことから、既設パラペット上に突起物の設置をしたりパラペット幅を大きく変える等の対応はできない。さらに平成16年度台風23号洪水を安全に流下させることができる H.W.L.+80cmの高さを確保するため、約260mの長い延長に渡って可動式止水壁を整備する必要があり(図-3)、これらの条件に沿った止水壁の設計が必要であった。



図-3 可動式止水壁整備区間

(2) 可動式止水壁の構造形式検討

パラペット上に構造物を設置することができないことから、止水壁を平常時は収納し、洪水時に引き上げる可動式止水壁の構造形式について検討した。

収納方法として止水壁をパラペットの上にかぶせ平行に収納しておき使用時は回転し立ち上がる回転起立式(図4)と、止水壁をパラペットに対して垂直に収納し使用時は上昇し立ち上がる垂直起立式の止水壁(図5)を考案した。

このうち回転起立式は水密性の確保や構造がシンプルで優位ではあるが、止水壁を平面的に格納することにより既設パラペット(幅約30cm)より天端幅を大幅に広くしてしまう(幅約80cm)ため、垂直起立式の止水壁を採用することとした。

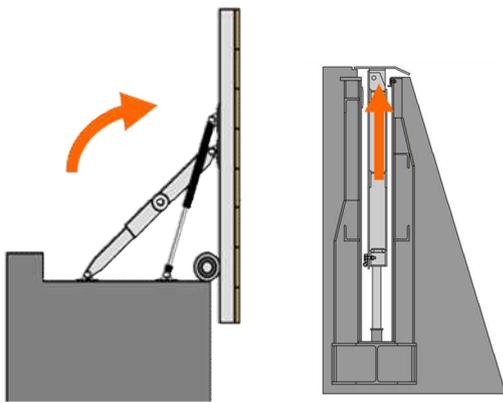


図4 回転起立式

図5 垂直起立式

(3) 水密構造の検討

通常の水門・樋門は側部水密を固定された戸当り(支柱)と扉体(止水壁)の当たりによって確保することが一般的だが、現在の景観の改変を抑えるためにも、支柱はパラペット上に設置することはできないことから、止水壁間の水密部構造及び支柱構造について検討を行った。

支柱そのものをなくし支柱レス構造とした「はめ合い水密構造」、支柱も可動構造とし戸袋内(既設パラペット部分)に収納しておき、使用時に支柱を引き出し支柱と止水壁の水密をとる「後面水密構造」の2案について、水密性と操作性の2つの観点から比較検討を行った。

a) 「止水壁のはめ合い水密構造」(支柱レス構造)

止水壁間の側部水密は、止水壁のはめ合い水密構造とし、支柱を必要とせず隣り合う止水壁端部のカギ型部分のはめ合うことで側部水密を確保する。止水壁と戸袋間の下部水密は、前面水密構造で止水壁を戸袋に押しつけ水密を確保する。(図6) この側部水密構造は、カギ部分をはめ合わせるために止水壁間の高い製作・据付精度が求められる。また、下部水密構造においても止水壁を戸袋に押しつけることから高い製作・据付精度が求められる。そのため流木等の衝突や、水圧・操作による変形

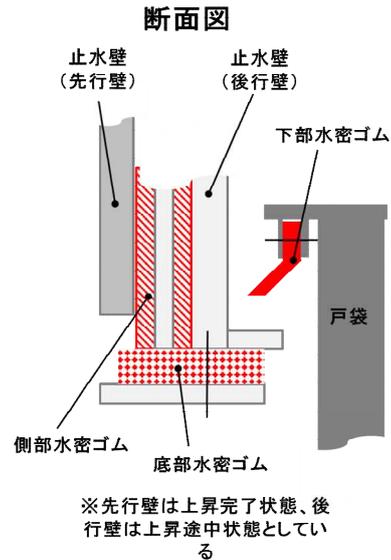
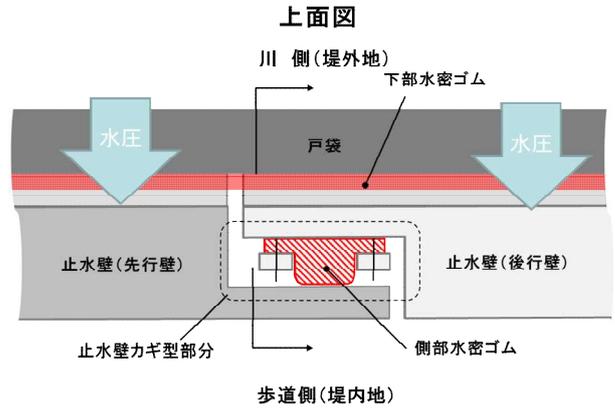


図6 止水壁のはめ合い水密構造図

により止水壁間、止水壁と戸袋間の精度が失われれば、水密性が極端に低下する。

また、止水壁間の精度が高いため止水壁の「遊び」(隙間)が少なく常に水密ゴムが止水壁に摺ることから、止水壁の上昇・下降操作時に引っかかりが発生しスムーズな操作ができない可能性がある。

b) 「支柱への後面水密構造」(支柱引き出し構造)

支柱への後面水密構造は、常時は支柱を戸袋に収納し止水壁上昇時に合わせて引き出すことにより、通常の水門・樋門と同様、止水壁が水圧によって支柱に押しつけられることで水密を確保する構造である。(図7) この水密構造は支柱と止水壁は分離し、はめ合い水密構造より比較的精度を必要とせず「遊び」(隙間)が多いためスムーズな操作が可能である。また、水圧が上がるほど止水壁が支柱に押しつけられ水密性は向上する。

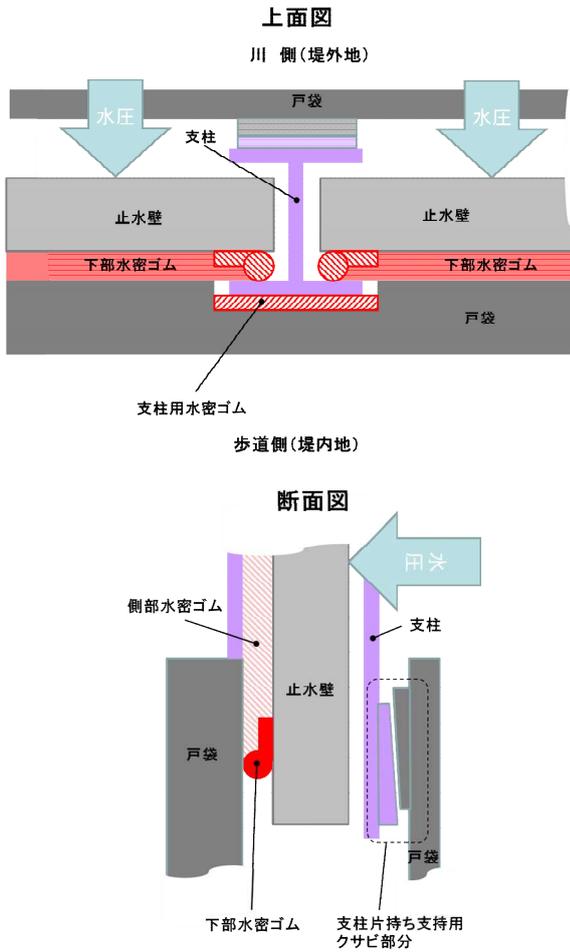


図-7 支柱への後面水密構造図

2構造の水密性と操作性の比較を表-1に示す。止水壁はめ合い水密構造は、精度管理が必要な箇所が多く管理が大変であり、操作においても引っかかりが発生する可能性がある。一方、支柱への後面水密構造は水密性を確実に確保でき、スムーズな操作が可能なることから、支柱への後面水密構造を採用した。

	止水壁のはめ合い水密構造 (支柱レス構造)		支柱への後面水密構造 (支柱引き出し構造)	
水密性	<ul style="list-style-type: none"> 止水壁端部の鍍金部分がはめ合うことにより水密を保持 はめ合うためには止水壁間の高い精度管理が求められる 衝撃や劣化等で止水壁間の精度が失われると水密性が低下 	△	<ul style="list-style-type: none"> 止水壁が水圧によって支柱に押しつけられることで水密を保持 水圧が上がるほど水密性が向上する(通常の水門・樋門と同様の水密構造) 	○
操作性	<ul style="list-style-type: none"> 止水壁間の「遊び」が少なく止水壁の昇降時に引っかかりが発生する可能性がある 	△	<ul style="list-style-type: none"> はめ合い水密構造に比べ止水壁と支柱の間の「遊び」(隙間)が多いためスムーズな操作が可能 	○

表-1 水密構造(支柱構造)の比較表

(4) 止水壁昇降装置の検討

(1)可動式止水壁の設計条件でも述べたように既設パラペットの幅(約30cm)を大きく変えることができず止水壁を収納する戸袋内は非常に狭くなることから、昇降装置の形式、設置場所について検討した。また洪水時に操作する止水壁は100基以上となり、昇降作業に時間を要することから容易でスムーズかつ確実な昇降機構についても検討した。検討は昇降装置の設置方法別に装置などの操作性、信頼性、維持管理性を考慮した。

a) 昇降装置を戸袋内に設置(ラック装置内蔵式)

戸袋内にラック式昇降装置を設置し、人力によるハンドル操作によって止水壁を下から押し出すラック装置内蔵式の構造を検討した。(図-8)

ラック装置の設置後すぐには止水壁の昇降に問題はないが、ギア部分に異物が噛み込めば止水壁を押し出すことができないなど、操作の信頼性を確認する必要が生じたため、簡易な試験機を作成し異物噛み込み時操作の試験を行った。結果はハンドル操作力が増大し、信頼性に問題があることが判明した。(図-9)

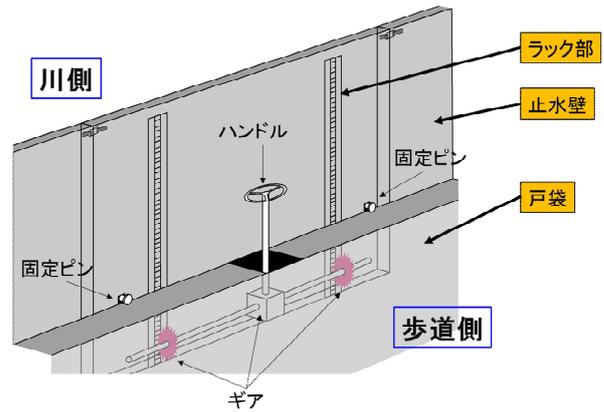


図-8 ラック装置内蔵式イメージ図



図-9 ラック装置内蔵式の異物噛み込み試験

また、ラック装置は止水壁毎(100基以上)に設置することから、多くのラック装置を狭い戸袋内で点検及び不具合対応をとらなければならず維持管理に問題がある。

b) 仮設クレーンによる昇降（クレーン付トラックによる引上げ）

一般に資材運搬荷下ろしに使用するクレーン付トラックを仮設し、止水壁の昇降操作を行う手法について検討した。（図-10）止水壁の吊り上げ吊り下げ操作は、荷下ろし等の一般的な作業であるが、吊り上げフックを止水壁中心の適切な位置で吊り上げないと止水壁が傾き支柱に引っかかることで操作に支障が出るとともに、クレーン能力の定格荷重内でもさらに吊り上げれば、止水壁、支柱が変形し昇降が出来なくなる可能性がある。また、止水壁を吊り上げ、吊り下げする時は観光客の多い歩道部分へトラックが立ち入る必要があることから、通行者への安全に配慮する必要がある。

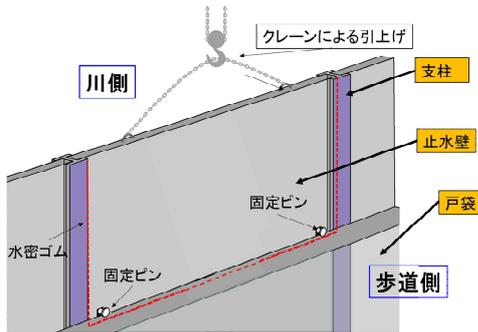


図-10 クレーン付トラックによる引上げイメージ図

c) 昇降装置を内蔵・外付けに分離（油圧シリンダ内蔵式・可搬式油圧ユニット）

昇降装置のうち点検項目が少ない油圧シリンダのみを戸袋に内蔵、点検項目が多い動力部分（電動機、油圧ユニット、制御部分）を可搬式（台車に搭載）とする油圧シリンダ内蔵式・可搬式油圧ユニットの構造を検討した。（図-11）

油圧シリンダ内蔵式は、可搬式油圧ユニットを止水壁の近くへ搬入し、油圧配管カプラーを取付、油圧ユニットを操作することにより、油圧シリンダが伸縮し止水壁を上昇下降させる。油圧シリンダが止水壁に固定しているため上昇下降時に傾くことがなく操作の信頼性は良い。操作においてもボタン操作により油圧が作動することから操作性は良い。また、点検項目が多い動力部分のみ可搬式としたことで維持管理にも配慮した。

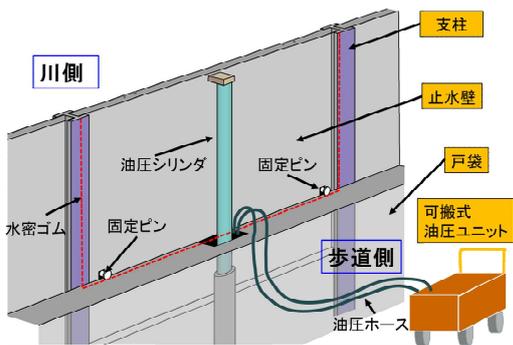


図-11 油圧シリンダ内蔵式・可搬式油圧ユニットイメージ図

昇降装置の操作性、信頼性、維持管理性の比較を表-2に示す。以上の検討から複数台油圧ユニットによる確実な操作が可能で、維持管理性が高い、昇降装置を分離した油圧シリンダ内蔵式・可搬式油圧ユニットを採用した。

	昇降装置を戸袋内に設置 (トラック装置内蔵式)	仮設クレーンによる昇降 (クレーン付トラックによる引上げ)	昇降装置を内蔵・外付けに分離 (油圧シリンダ内蔵式・可搬式油圧ユニット)
操作性	・人力によるハンドル操作のため操作は容易 ○	・一般的な荷下ろし作業と同様のため昇降操作に問題なし ・歩行者への安全に配慮して操作を行う必要がある △	・ボタン操作により止水壁が昇降するので操作は容易 ○
信頼性	・ギヤ部分に異物が噛み込むと操作力が増大 △	・止水壁重心位置で吊り上げなければ、傾き引っかかりが発生する ・適切に吊り上げなければクレーンには力が強いので止水壁、支柱を変形させる可能性がある △	・油圧シリンダが止水壁に固定されているため止水壁の傾き等なく操作が可能 ○
維持管理性	・トラック装置(100基以上)は戸袋内にあり狭い戸袋内で点検・不具合対応を行う必要がある △	・クレーン付トラックの通常の保守点検であり問題なし ○	・点検項目が多い動力部分を可搬式としており保守点検等は容易 ○

表-2 昇降装置の比較

3. 試験機による実証試験

今回検討・設計を行っている可動式止水壁の構造については水門・樋門設備の技術基準を参考にするもの、これまでに前例のない設備であることから、実物大の可動式止水壁の試験機を製作し水密性、操作性、耐衝撃性、洪水時のうねりに対する安定性などについて実証試験を行った。

(1) 水密性の確認

止水壁、支柱、戸袋の水密性を湛水試験により確認した。湛水試験は止水壁の中間点(止水壁の下端から40cmの位置)の水位と天端点(止水壁の下端から80cmの位置)の水位で漏水状況を確認した。（図-12）

結果、止水壁と支柱の水密（側部水密）、止水壁と戸袋の水密（底部水密）は機能しており止水しているのを確認した。しかし、テーパピンで止水していた支柱と戸袋の隙間から少量の漏水が確認された。



図-12 水密性の確認

(2) 操作性の確認

戸袋と可動式の支柱、支柱と止水壁との間の精度を高くすれば水密性が向上するが「遊び」（隙間）が少なくなり操作性が低下する関係にある。設計では水密性と操作性を両立させる「遊び」（隙間）を設定しているが、この設定で操作に問題がないかを確認した。また、止水壁操作数が多いため操作員が煩雑なく操作できるのかの油圧ユニットの操作性、操作時間の確認も併せて行った。（図-13）

結果、概ね止水壁の昇降時にガタつきや引っかかりがなく問題なく操作できたが、数回であるが止水壁が傾き支柱にひっかかる事例があった。一方で操作時間は止水壁1基の上昇操作を3分間で行うことででき、想定内での時間で操作可能であった。また、油圧ユニットの操作で油圧配管のカプラー取付取外しに手間がかかるとの意見があり、カプラーから若干の漏油が確認された。



図-13 操作性の確認

(3) 耐衝撃性・洪水時のうねりに対する安定性の確認

水圧を受けた止水壁の荷重を受ける支柱が可動式で片持ち支持構造であることから、耐衝撃性及び洪水時のうねりに対する安定性を確認した。

耐衝撃性の確認では、嵐山地区に流下した流木に相当する衝撃を発生させる重さ 70kg のおもりを衝突させ、止水壁、支柱の変状がないかを確認した。結果、衝突箇所に局所的な変形があるが構造上の問題となる変形等は確認されなかった。また、耐衝撃性試験後の支柱及び止水壁を使用して上昇下降の確認を行い可動することを確認した。

洪水時のうねりに対する安定性の確認では、洪水時を再現し造波装置付きの水槽を用いて止水壁に波を当て支柱及び止水壁の安定性を確認した。止水壁高さまでの波及び止水壁を越水する波を浴びせた結果、うねり作用時には支柱及び止水壁のガタつき（最大0.5cm程度）は見られるものの、うねり作用後はほぼ元の位置に戻っており変形が無いことを確認した。（図-14）



図-14 波のうねりに対する安定性の確認

4. 実証試験を受けての修正設計

前述した実証試験の結果を受けて、課題となった構造部分について修正設計を行った。

(1) 水密性に関する修正設計

湛水試験において支柱と戸袋との隙間からの漏水が確認されたことについては、支柱を上下させるために設けた支柱と戸袋の間の「遊び」（隙間）が水みちとなり、上昇毎に「遊び」（隙間）が変わり一定の隙間にならないことが原因と想定した。（図-15）

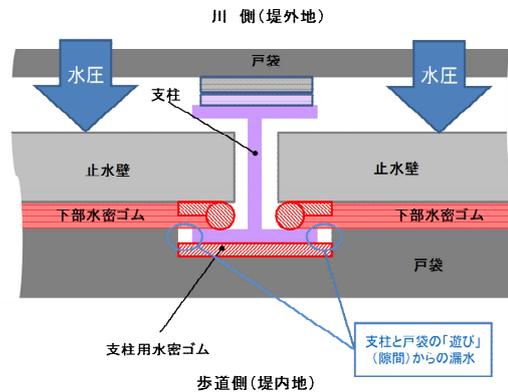


図-15 漏水箇所概略図

そのため、大きさが操作毎に変わる支柱と戸袋との隙間に充填可能な、水を吸収すると膨張する性質の水膨張不織布使用して、止水ピンを作製し、支柱と戸袋の隙間に差し込み、再度湛水試験を行ったところ止水を確認した。（図-16）

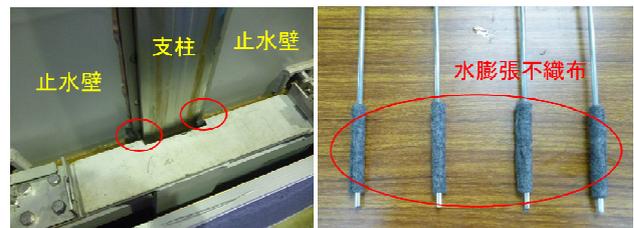


図-16 差し込み箇所と止水ピン

(2) 操作性に関する修正設計

止水壁昇降時、止水壁の傾き引っかけかりについては、支柱の立ち上げ位置が「遊び」（隙間）により立ち上げ毎に変わり支柱間の幅が変化することが原因となって発生すると想定した。

支柱と戸袋の「遊び」（隙間）を少なくすれば解決できるが、「遊び」（隙間）の存在はスムーズな昇降に寄与するため「遊び」（隙間）を少なくすることはせず、止水壁の傾きを防止するためガイドを止水壁と戸袋の中央に設置した。（図-17）また、油圧配管カプラーは、カプラー自体の凹凸が少なく脱着が容易なものに変更し、カプラーの操作性向上とともに若干の漏油もさらに少なくなった。（図-18）

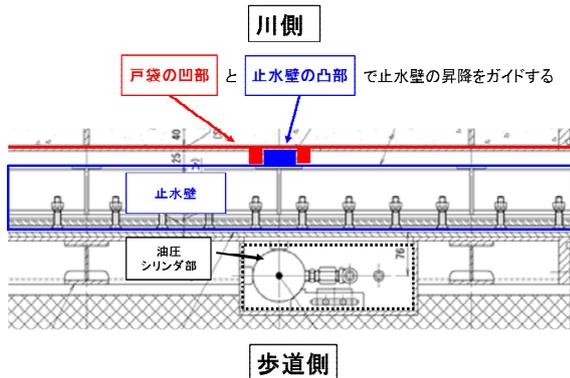


図-17 止水壁中央のガイド

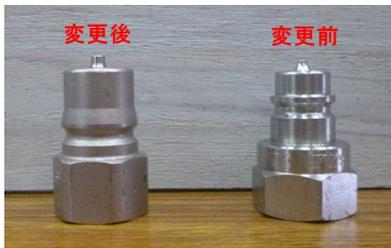


図-18 変更前後のカプラーの形状

5. 可動式止水壁の構造

以上の検討・設計、試作機における実証試験及び修正設計から可搬式止水壁は以下の構造とした。

可搬式止水壁は、止水壁、支柱、戸袋から構成され、平常時は止水壁、支柱は戸袋内に収納し、洪水時に止水壁、支柱を立ち上げ洪水を止水するものとした。

止水壁、支柱は戸袋に内蔵した油圧シリンダを伸長し立ち上げ、戸袋天端部に設置した固定ピンで固定する。油圧シリンダの油圧動力を発生する油圧ユニットは、台車で移動できる可搬式とし、各止水壁の油圧シリンダに接続し、止水壁を順次引き上げ、約130基の止水壁を全て引上げるにより渡月橋上流左岸部260mの溢水対

策の機能を発揮する。止水壁は平成16年台風23号洪水を流下させることができる約80cmの高さとし、径間は約2mのアルミニウム製とした。支柱は戸袋に片持ち支持構造とし、高さは止水壁と同じ高さとした。可動式止水壁の概略図を図-17に示す。

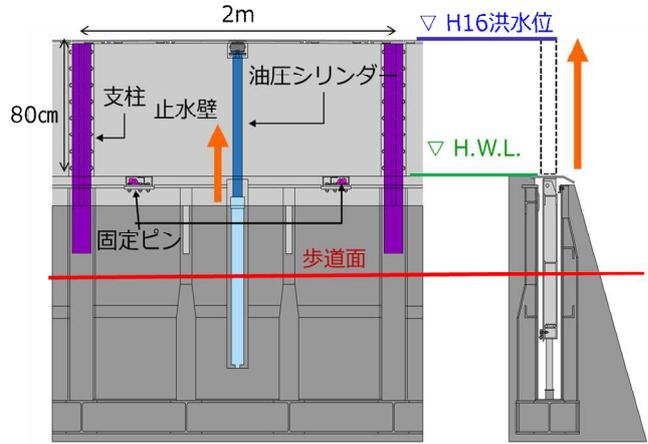


図-19 可動式止水壁概略図

6. 終わりに

今回検討した可動式止水壁は嵐山という特性上、景観を大きく変えるような構造とすることはできなかった。そこで止水壁および支柱をパラペット（戸袋）に収納する構造を検討した。止水壁および支柱をパラペット内に収納し洪水時のみ立ち上げるという構造は、支柱を固定せず片持ち支持構造となるため、水密性、操作性、維持管理性や強度の観点から見ると通常の水門・樋門より厳しい条件となったが、試験機による実証試験等で検証することにより当初の設計条件を満足し、全国初の可動式止水壁の構造となった。

今後は設置後の水密性、操作性を確認するとともに、維持管理の課題解決を踏まえたさらなる構造の検証を重ねる必要があると考える。

さいごに、今回設計した可動式止水壁により浸水頻度の軽減となることを期待する。

なお、本論文は従前の所属である淀川河川事務所施設管理課の所掌業務の内容である。

謝辞：本稿作成にあたり御教授いただいたすべての方々、本業務に関わった方々に心から感謝いたします。

「平城宮跡歴史公園スマートチャレンジ」の 取組について ～国営公園から奈良のスマートシティ実現へ～

前迫 康文¹・宇川 裕亮²

¹近畿地方整備局 大和川河川事務所 工務課 (〒582-0009大阪府柏原市大正2-10-5)

²近畿地方整備局 国営飛鳥歴史公園事務所 調査設計課 (〒634-0144奈良県高市郡明日香村大字平田538)

「平城宮跡歴史公園スマートチャレンジ」は、「AIやIoTなどの新技術を用いた国営公園の魅力向上」および、「奈良のまちづくりにおけるスマートシティ実現」という2つの目標の実現を目指す、国営公園で初めての取組である。本社会実験の目標実現のために、産学官連携のコンソーシアムを組織し、「新たなモビリティサービス」等の6テーマで公募、選定を行い、2019年度では11の社会実験を実施した。社会実験を進めたうえで、策定すべきルールや産学官それぞれが担うべき役割等の知見が明らかになった。今後は各実験を展開しつつ、実験間連携を深めていくことが重要となる。

キーワード 国営公園, 新技術, まちづくり, 産学官連携, スマートシティ

1. はじめに

国営平城宮跡歴史公園は、奈良市内に広がる特別史跡平城宮跡を計画地とした国営公園である。世界遺産「古都奈良の文化財」の構成資産の一つでもあり、我が国を代表する歴史・文化資産である平城宮跡の一層の保存・活用を図る目的で、2008年度に国営飛鳥歴史公園の追加区域として設置することが閣議決定され、国営公園と連携し、奈良県が整備を行う区域を合わせ、一体的な公園整備を行っている。(国営公園区域約122ha、県営公園区域約10ha、合計で約132ha)。本稿では、2019年度より平城宮跡歴史公園で取り組んでいる「平城宮跡歴史公園スマートチャレンジ(以下、平城宮跡PSC)」について報告する。

2. 「平城宮跡PSC」について

現在、国土交通省都市局が展開しているスマートシティ施策については、「スマートシティ実現に向けて【中間とりまとめ】¹⁾」が2018年(平成30年)8月に策定された。これは我が国におけるスマートシティの目指すべき将来像や取り組みの方向性を示し、スマートシティの取組を推進するために策定されたものである。この【中間とりまとめ】において、今後の具体的施策として掲げられている「モデル事業の実施」の枠組みで、国営公園

において先導的に実施することが位置付けられた。この【中間とりまとめ】を受けて始まったのが今回の「平城宮跡PSC」である。平城宮跡PSCは、国営公園を舞台としてAIやIoTなどの新技術を活用し、公園の抱える課題の解決や、利用者サービスの創出などによる公園の魅力向上を目指す取組である。従来行われてきた街中での社会実験とは異なり、ある程度の安全性が担保され(一般の車両等の進入が少ない)、かつ一般市民が利用するパブリックスペースであるため、一つの都市のミニチュアとして安全かつ効率的に新技術を活用した社会実験を実施できると考えられる。本社会実験を通じて公園の維持管理運営の効率化や省力化、公園サービスの向上等による公園の魅力向上等を第一の目的とし、さらには奈良のまちづくりにおけるスマートシティ実現に向けて、当公園での社会実験の結果等を踏まえ、展開が可能となった新技術を水平展開を促進する材料として提供することを第二の目的としている。

3. 平城宮跡PSCの特徴

本章では、「平城宮跡PSC」の特徴として、基本方針・実施体制・社会実験テーマ・民間投資の誘導について述べる。

(1) 基本方針

平城宮跡PSCでは、「新技術の活用」「市民参画」「情報発信」の3点を基本方針として掲げ、取り組みを進めている。

1点目の「新技術の活用」は、本社会実験の主要目標でもあり、AIやIoTなどの新技術を実際に活用し、公園の抱える課題の解決や公園サービスの飛躍的な魅力向上、さらには奈良のスマートシティ実現を目指していくものである。

2点目の「市民参画」では、地域住民向けの説明会や近隣の教育機関と連携したアイデアソン・ハッカソン等を行うことで、今後の新技術の社会実装に向けて、課題を見出し、技術や仕組みの磨きこみを行うことを目指す。なお、アイデアソンとは、アイデア(Idea)とマラソン(Marathon)を掛け合わせた造語であり、特定のテーマに対して多様な分野のメンバーが集まり、新たなアイデアの創出を目指す取組であり、ハッカソンはハック(Hack)とマラソン(Marathon)を掛け合わせた造語で、短期間に集中してサービスやシステム等の開発を目指す取組である。

3点目の「情報発信」では、HPやSNS等を活用して社会実験に関する情報を積極的に発信することに加え、シンポジウムや各種講演会を行うことで、スマートシティ実現に向けた社会意識の醸造を目指す。

(2) 実施体制

「AIやIoTを用いた国営公園の魅力向上」「奈良のまちづくりにおけるスマートシティの実現」という2つの目標を実現するため、産学官連携のコンソーシアム「平城宮跡歴史公園スマートチャレンジコンソーシアム」を2019年4月に組織した(図1)。このコンソーシアムには、平城宮跡歴史公園の運営や歴史的資産の保存に関する公的機関(奈良県、文化庁、奈良文化財研究所)をはじめ、今回の社会実験に関係するモビリティやVR・ARといった新技術、文化財や造園等の分野の有識者に加え、将来的な奈良のまちづくりへの展開を視野に入れるために、奈良県・奈良市のまちづくり関係部局にも参画いただいた。民間事業者については公募を行ったうえで、コンソーシアム会員から契約の相手方となる国営飛鳥歴史公園



図1 平城宮跡PSCの実施体制

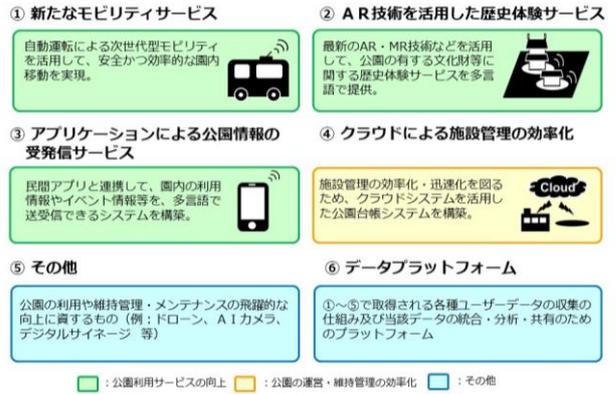


図2 平城宮跡PSCでの応募テーマ

事務所や公園管理業務受託者を除いた学官から構成される「評価選定委員会」において選定し、コンソーシアムへ参画する流れをとった。

(3) 社会実験のテーマ

社会実験の公募にあたっては、「事業者が実施可能な実験を行う」ということではなく、「本公園の特性や抱える課題を踏まえ、それらを活かすことや解決できる実験を行う」という本来の目的に沿った選定を行うために、6つのテーマを設定した(図2)。具体的には、広大なエリアに対して、十分な散策時間を確保できない来園者が多いという課題解決を目標とした「新たなモビリティサービス」や園内のインフラ施設の維持管理の効率化が求められていることを踏まえた「クラウドによる施設管理の効率化」等を設定した。さらに、「その他」のテーマを設けることで、民間事業者からの新技術提案の自由度を上げ、様々な新技術の提案を幅広く募集した。

(4) 民間投資の誘導

現在、全国的にスマートシティに関する社会実験が全国各地で実施されているが、多くは単年度実施等の短期かつ公的投資によるイベント的な社会実験となっている。これに対し、平城宮跡PSCでは将来的なスマートシティ実現のため、実験初期に必要な各種予算の一部については、国営公園として予算措置する一方で、複数年度にわたる実験の中で、官民の費用負担の割合を徐々に民間投資へ移行させ、一部については民間事業者の独立採算で新技術のサービス化を実現していくことを目指す。

4. 平城宮跡PSCの取組紹介

(1) 新技術を活用した社会実験の実施

2019年3月~5月末の期間で新技術を有する民間事業者の公募を行い、7月末に開催された第2回コンソーシアム総会内の、評価選定委員会での選定の結果、9事業者による11の実験を実施することとなった(図3)。9月上旬

での第3回コンソーシアム総会で各事業者の実施計画が承認され、10月19日から平城宮跡歴史公園内で開催された、「平城京天平祭2019秋～みつきうまし祭り～」に合わせた実験を皮切りに、順次実験を開始した。また、モビリティサービス等、一般の方の参加が可能なものについては、積極的に体験や周知を行った（図4）。

また、各実験を実施するにあたって、「実験を進めていく中で生じた課題に対してその都度対処し、事業者間の連携をしながら多くの社会実験を並行して展開する」という将来のスマートシティを想定した、全国的にも珍しい方式をとった。これは、アジャイル開発の考え方を踏まえたものであり、事前に実施計画や実験内容を正確に固めることなく、実験途中での計画変更や修正があることを前提として、より小さな期間で実装とテストを繰り返して進めていく方式である。従来の都市計画では、計画や方針を策定したのちに実装へ至るまでに数年の期間を要することが多く、近年の成長著しい技術革新に対しては、当初の計画や方針と実装時点での技術水準で齟齬が生じてしまう。本実験では、社会実験を進めるうえで、実際の実験実施の進捗状況等によって、計画の修正や追加が想定されるため、臨機応変に対応できるようにこの方式を採用した。

実験当初では各事業者が自社の有する技術による実験実施が中心であり、一部に事業者間連携がみられるに留まっていたが、上記の方式を採用することによって、社

会実験を進めていく中で、他社の有する技術や実験内容への理解が深まり、当初は想定していなかった事業者間の連携による実験実施や取得データ等の知見の共有を行うことが可能となった。

(2) 市民参画の推進

2019年度の取組では、年度途中から実験を開始したため、ある程度実験が進んだ段階で検討を始め、12月以降から計3回のアイデアソンを行った（図5）。

「③ インフラメンテナンスに関する新技術の横展開に向けた課題について」では、公園内のインフラ維持管理に関するため、普段から平城宮跡歴史公園を管理している官民の組織を中心に、コンソーシアムに参画いただいている有識者をオブザーバーとして開催した。

①と②のアイデアソンでは、有識者が所属する大学の学生を中心として、開催した。学生には実際に平城宮跡歴史公園で社会実験の体験をしてもらい、設定した事前課題に取り組んでもらったのちに、アイデアソンを開催するという流れをとった。

(3) 社会実験に関する情報の発信

2019年度の実施においては、コンソーシアム事務局である国営飛鳥歴史公園事務所のHP上に平城宮跡PSCのページを作成し、コンソーシアム総会での協議事項や今後の実験実施予定を発信したほか、実験の一環として、参画事業者が作成したHP上において、事前予約が必要となる実験（自動運転サービスの乗車予約等）の予約を行うなどした。また、FacebookやInstagramでは、個別の実験の実施日程やその内容、実験時の様子を掲載した。さらに各実験の実施前には、事務局や民間事業者によるプレスリリースを行い、必要に応じて近隣住民やマスメディアを対象とした説明会を実施し、本社会実験の広報を行った。

また、2020年1月には平城宮跡PSCの実験進捗を市民に共有すること、それまでの実験を踏まえた今後の取組や将来的な奈良のスマートシティ実現への方針について議

事業者名	テーマ*	令和元年度の実験内容
1 Perceptin Japan 合同会社	テーマ① (モビリティ)	・自動運転車を活用した無人タクシーサービス
2 株式会社NTTドコモ		・自動運転車・パーソナルモビリティ・シェアバイクを複合的に活用したモビリティサービス
3 凸版印刷株式会社	テーマ② (AR等)	・モビリティ（自動運転）と連携したVR技術による歴史体験・解説サービス
4 株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマーク		・AR技術を活用した歴史体験・解説サービス
5 凸版印刷株式会社	テーマ③ (公費アプリ)	・ポータルアプリやデジタルサイン等を活用した情報発信
6 ブルーイノベーション株式会社	テーマ④ (その他)	・ドローンのプログラミング教室を活用したドローン技術に係る人材育成
7 国際航業株式会社	テーマ⑤ (台車システム)	・クラウド等を活用した公園施設管理台車システムの構築
8 NTTコムウェア株式会社	テーマ⑥ (その他)	・モビリティ（自動運転）やドローン等で取得される画像データを用いたAI画像解析によるインフラ点検のシステム構築
9 株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマーク		・ドローンを用いた空撮によるデータ取得 ・ネストソリューションによる自動離着陸
10 日本電気株式会社	テーマ⑦ (その他)	・カメラで得られる画像やWi-Fiセンサーを活用した人流解析
11 西日本電信電話株式会社	テーマ⑧ (データプラットフォーム)	・各実験で取得されるデータの収集・統合・分析等するデータプラットフォーム

* 緑：公費利用サービスの向上 黄：公園の運営・維持管理の効率化 青：その他

図3 参画した実験事業者とその実験内容



図4 マイクロロボットタクシーの体験乗車

- ① 新たなモビリティサービスの実用化・地域展開について
日時：2019年12月18日
参加者：NTTドコモ、奈良女子大学（根本教授、学生）（ほか）
- ② 自動運転・VRを活用した地域活性化、実用化について
日時：2020年3月18日
参加者：Perceptin、凸版印刷、ジャパン・インフラ・ウェイマーク、奈良先端科学技術大学院大学（満川教授、学生）（ほか）
- ③ インフラメンテナンスに関する新技術の横展開に向けた課題について
日時：2020年2月26日 13:00~16:00
参加者：国際航業、NTTコムウェア、ジャパン・インフラ・ウェイマーク、平城宮跡管理センター、平城京 再生プロジェクト（ほか）
- ④ 公園情報の集約・利用者への情報提供について
日時：2020年3月2日 13:00~16:00（延期）
参加者：凸版印刷、NEC、NTT西日本、平城宮跡管理センター、平城京 再生プロジェクト（ほか）
- ⑤ 新技術と市民に親しみやすくするために必要な取り組みについて
日時：2020年3月1日 14:00~16:00（延期）
参加者：ブルーイノベーション、ドローン教室講師育成講座受講者（ほか）



図5 アイデアソンの実施状況

論する場としてのシンポジウムを2日間にわたって開催した(図6)。シンポジウムでは、コンソーシアムに参画している産官学の各組織から平城宮跡PSCの概要や各実験の紹介、今後の取組で期待されることについての講演を行い、外部有識者を交えてのパネルディスカッション等を実施した。

5. 平城宮跡PSCの課題と今後の展望

2019年度の社会実験は一旦とりまとめを行ったが、実際に社会実験を行った中で明らかになった課題等を踏まえ、各社の実験内容や事業者間連携等の体制を改善しつつ、継続して実施していく予定である。

2019年度の実験では、年度後半からの限られた期間の中で、平城宮跡歴史公園という特殊なフィールドの理解や自社の行う実験に注力し、他社の有する技術やその取組内容を認識する段階で終了してしまっただけ面も大きかった。

(1) 平城宮跡歴史公園というフィールドへの理解

平城宮跡歴史公園内での実験では、都市公園や特別史跡であるが故に特有の手続きや申請が必要となること、園内の対象地によって管理者(国交省や文化庁、奈良県など)が分かれていることがある。そのため民間事業者が申請等の必要性やその申請先を認識していない場合も

多くあり、実験実施を円滑に進めるための制度周知やサポートをしっかりと行う必要がある。2019年度の実験では、公園管理に関わる公的機関と協力し、規制事項や必要な手続き等を記載した「社会実験の実施にあたっての基本ルール」を作成し、調整事項を明確化したうえで、コンソーシアム内で共有を図った。

(2) コンソーシアム内の連携

事業者間をはじめとするコンソーシアム内連携に関しては、「データの集約やその活用法」が第一の課題として、「連絡の円滑化」が第二の課題として挙げられる。

「データの集約やその活用法」について、平城宮跡PSCでは、社会実験で取得される各種データの収集や統合、分析、共有を行うためのデータプラットフォームを設定していたが、組織の体制として各民間事業者を横並びとして実験の調整を行ったことや、データ提供に関して各事業者が社内規定をクリアしたうえでデータをアップロードするためにデータ形式をある程度統一する必要があったことなどから、データプラットフォームへのデータ提供が思うように進まず、有効な分析や共有を行う段階まで進むことができなかった。そのため、2020年度以降ではデータプラットフォームを事業者間連携のとりまとめ役として組織体制を見直すことや、各社の間で秘密保持契約を結ぶこと等で、取得データの活用法を検討し、より効率的に取り組みを推進できるようにする必要がある。また、2020年度以降では、大規模イベント時に連携して社会実験を実施するなど、実験期間をそろえることで、より精度の高いデータが取得できると想定される。

第二の課題として挙げた「連絡の円滑化」は必ずしも事業者間に留まる課題ではなく、今回のような多くの組織や企業が協力し、双方向・多方向で調整を進める場合には、参画している全組織が直面する課題である。例として事務局の立場から見ると、民間事業者による11の実験グループとの調整を中心として、参画いただいている公的機関や有識者への進捗説明や詳細な実験の調整がある。さらには、事務局を介さない事業者間による連携のためのやり取りや、事業者と公的機関との間の調整などが含まれる。そのため、現状の進捗を把握するための労力が膨大となり、実験調整の段階で想定以上の時間を要した。この課題に対しては、チーム内の進捗や調整・連絡を可視化することができるコミュニケーションツールが多く出されているため、それらの活用が考えられる。本コンソーシアムにおいても複数回にわたって導入を検討したが、各組織によって使用可能なツールが異なるうえ、公的機関ではセキュリティ面で基本的に使用ができず、断念する結果となった。この「連絡の円滑化」という課題も今後の取組を効率的に進めるうえで、改善が求められる。

図6 平城宮跡PSCシンポジウムフライヤー

(3) 今後のサービス実装、水平展開への課題

さらに、今後の平城宮跡歴史公園内での実装や奈良のスマートシティ化に向けての新技术の水平展開という点では、一般市民の新技术への理解を深める取組や、民間投資の誘導のためにマネタイズ化の推進という課題が存在する。ともに、2019年度に引き続いて、基本方針にも掲げている「市民参画」と「情報発信」に取り組むことが重要となり、特に新技术への理解の深化については、実際に体験をしていただくなどで新技术に「慣れた」状態を作り出すことが効果的と考える。これまでの実験では、自動運転による無人タクシーサービスを隔週で実施したことや、ドローンによるインフラ点検を毎月開催したことなど、定期的な実験の実施にも取り組んだことで、複数回体験・見学いただいた来園者もおられ、試行回数を増やすことで新技术への理解を深めることができると思われる。

また、マネタイズ化については、2019年度の実験において一般の参加者を対象として実施したアンケートの項目として、「有料化した場合の負担可能金額」を設けたが、アンケートから得られたサービス料金では、当該の各民間事業者が求める料金水準には届かず、現状のサービス内容では、独立採算が難しいという結論に至った。

これに対しては、個別の実験での成果を今後も上げつつ、いかに事業者間連携を進める等で付加価値の高いサービスへつなげることができるかが問われている。

本論文は著者の前任地である、近畿地方整備局国営飛鳥歴史公園事務所で実施した「平城宮跡歴史公園スマートチャレンジ」についての成果をとりまとめたものである。

謝辞：「平城宮跡歴史公園スマートチャレンジ」の取組でご協力いただいた、コンソーシアムの皆様及び本稿の作成にあたってご助言いただきました皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省都市局：スマートシティの実現に向けて【中間とりまとめ】（2018年8月）

線状降水帯及びマルチセルのリアルタイム検出 や定量的降雨予測を考慮した洪水予測について (中間報告)

渡壁 守

近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 防災情報課 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町10-1)

近年、台風性の降雨だけでなく、前線性や線状降水帯、マルチセル（組織化した積乱雲）による集中豪雨により、洪水等の災害が頻繁に発生している状況下の中、より効果的なダム操作やダムの有効活用が求められている。そのためには、気象庁から提供される数値予報だけでは無く精度の高い定量的降雨予測が必要となる。今回は、予測が難しい線状降水帯及びマルチセルについて、予測手法の確立及び定量的降雨予測を考慮した洪水予測システムの開発・構築を目指し、検討したので中間報告を行うものである。

キーワード 局地的豪雨, 線状降水帯, マルチセル, 洪水予測

1. 局地的豪雨探知システムの概要

(1) 背景, 目的および範囲

急激に発達する局地的な豪雨による災害を防止するために、数分から10分程度先に豪雨となる可能性を予測する試験システムを整備し、発生から30分以内に地上付近の降水強度が50mm/h以上に急発達する孤立した積乱雲（以下、豪雨セル）を対象とする。対象範囲は、大阪、神戸、京都、堺の重点監視地域を含み、4台以上のXバンドMPレーダおよびCバンドMPレーダによって観測可能な範囲を探知範囲（図-1）とする。なお、探知を行う高度は、積乱雲の発生とその後の発達過程を追跡できる地上から上空10kmまでとする。

(2) 豪雨の危険度判定の手順

本システムは、中北ら2), 3), 4), 5)の手法に基づき、上空で発生する積乱雲をレーダで早期探知し、その内部の反射強度やドップラー風速から計算される渦などの情報（図-2）から、豪雨セルに発達する危険度を3ランクで判定して通知する。危険度ランク判定の流れを以下に示す。

a) 等高度面データ（CAPPI）の作成

5台のX-MPレーダ（田口（たのくち）、六甲、鷲峰山（じゅうぶさん）、葛城、鈴鹿）から水平・鉛直ともに500mメッシュの等高度面データ（CAPPI）を上空10kmまで1分毎に作成する。

b) 降水セルの抽出および追跡

京都大学防災研究所で開発されたプログラムを基に、反

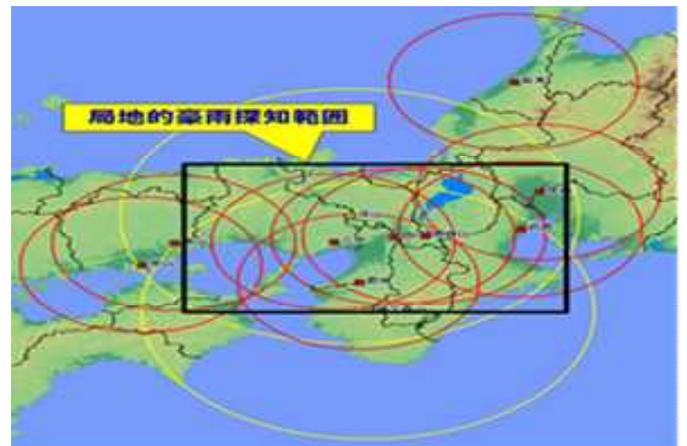


図-1 局地的豪雨探知システムの対象範囲

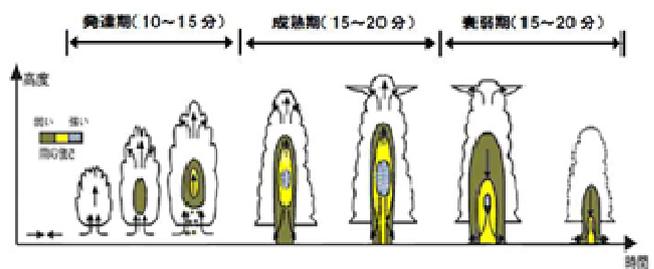


図-2 積乱雲の一生と本システムのターゲット

射強度20dBZ（降水強度1mm/h相当）以上の閉曲面を1つの降水セルとして抽出する。抽出された各降水セルについて、1分前に抽出した降水セルの体積と重心位置が最も近いものを検索し、紐付けすることで追跡を行う。

c) 各降水セルの指標計算

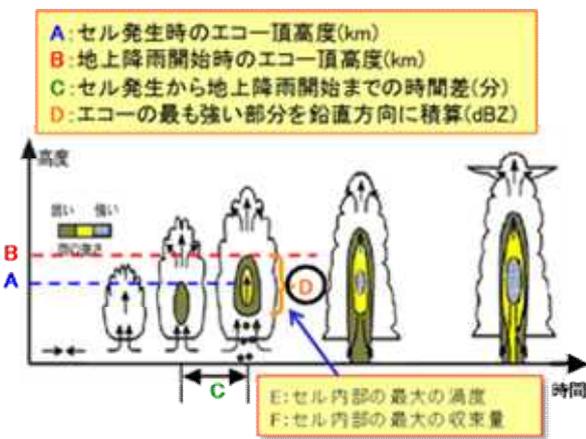
反射強度、渦度、収束量のCAPPIから、図-3のようにエコー頂高度差、鉛直発達速度、鉛直積算エコー強度、渦度、収束量の5指標を各降水セルで計算する。各指標値が大きいほど、豪雨セルに発達する可能性が高い。

d) 危険度判定

c)の各指標について、指標値と豪雨セルになる確率(%)の関係はメンバーシップ関数で表される。これらの関数を用いて確率値を計算し、それらを加重平均することで、豪雨の危険度を0~100の数値で表現する統合指標値Gを算出する。続いて、図-4に示す3つのしきい値から、危険度ランク1~3、危険性なしを判定する。

(3) Webによる表示

局地的豪雨探知システムの表示画面を図-5に示す。Web表示システムは、降水セルごとに判定された危険度ランクをXRAINの降水分布に重ねて表示する。危険度ランクは色分けした円で降雨域を囲むことにより表現し、追跡終了した降水セルは追跡終了時のランク円を同じ位置に点線で残すようになっている。また、過去1ヶ月程度の履歴表示やGIFアニメの作成も可能である。



積乱雲（降水セル）が発達するか否かは、渦を含めた以下の5指標で判定

- ① エコー頂高度差 [km] ... $B-A$
- ② 鉛直発達速度 [km/分] ... $(B-A) / C$
- ③ 鉛直積算エコー強度 [dBZ] ... D
- ④ 渦度 [0.001/s] ... E
- ⑤ 収束量 [0.001/s] ... F

図-3 豪雨の危険度判定に用いる各指標

豪雨危険度指数

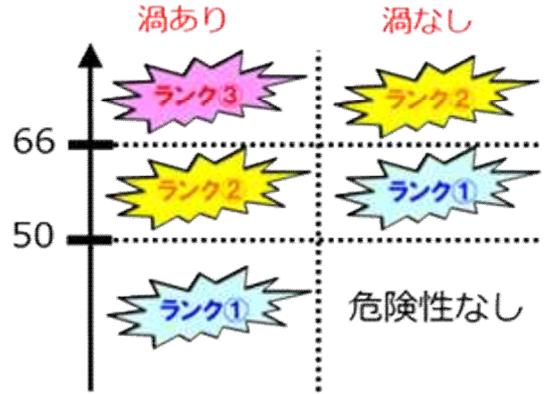


図-4 統合指標値（豪雨危険度指数）と危険度ランク



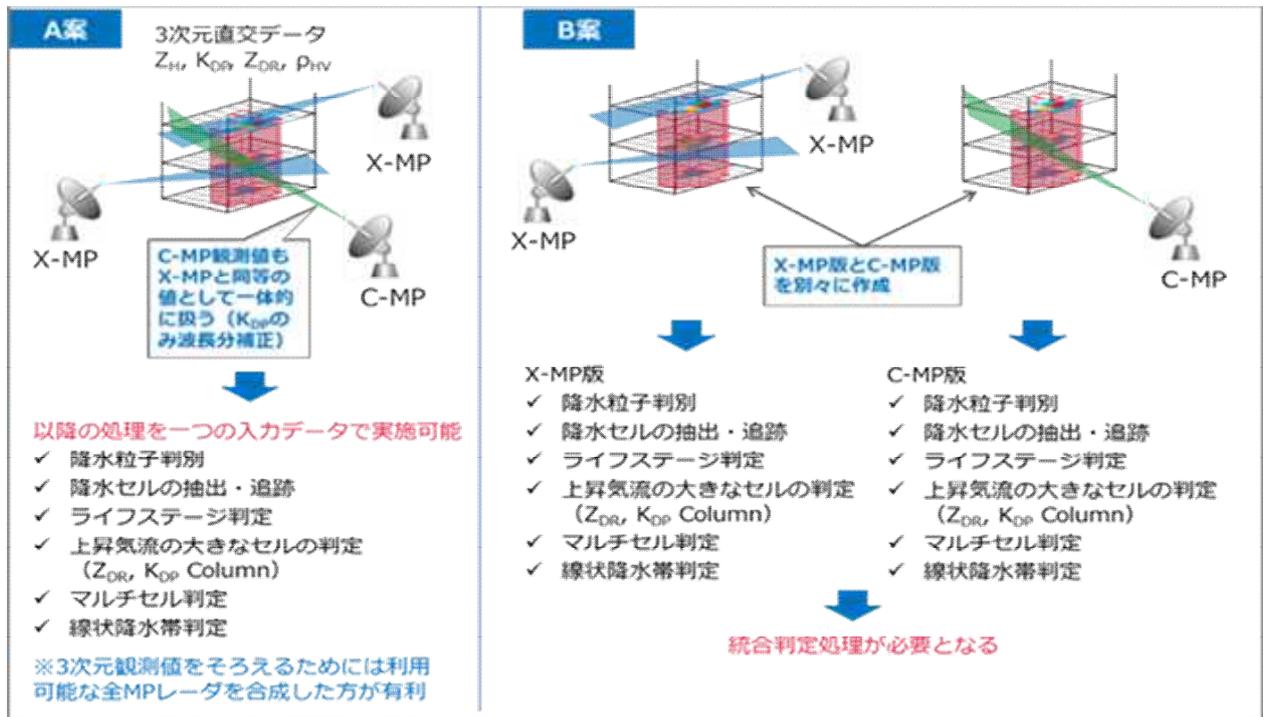
図-5 局地的豪雨探知システムの表示画面

2. 線状降水帯及びマルチセルのリアルタイム判定

(1) 拡張に関するA案とB案

線状降水帯やマルチセルのリアルタイム判定では、偏波パラメータから推測する降水粒子の判別結果を用いて、積乱雲のライフステージを判定する必要がある。既往研究では、XバンドMPレーダで観測される偏波パラメータのみを用いて粒子判別を行っているため、新たにCバンドMPレーダを追加するための合成手法を検討した。

CMPとXMPを同等の値として一体的に扱い、偏波パラメータを算出し粒子判別等を行う方法をA案、CMPとXMPについて別々に粒子判別等を行い、総合判定処理を行う方法をB案とし、両者の比較検討を実施した。



(2) マルチセル及び線状降水帯データベースの整理

「マルチセルや線状降水帯と環境パラメータの関係性評価」、「リアルタイム検出手法の評価」等を実施するにあたり、マルチセルや線状降水帯の“正解データ”として、2015～2019年におけるマルチセル及び線状降水帯のデータベースを作成した。

図-6はマルチセルとして自動判定された領域を示している。マルチセルが発生している事例は前線が存在しない大気不安定事例か、近畿地方が前線の南側に位置していることが多いことがわかった。

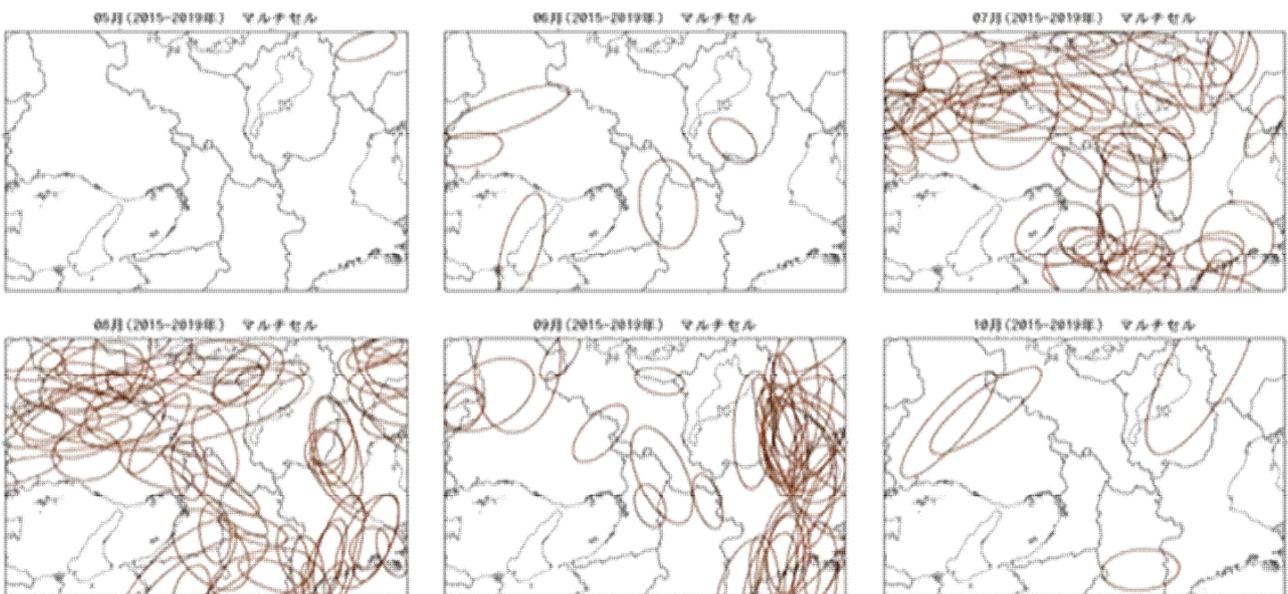


図-6 マルチセル (月別)

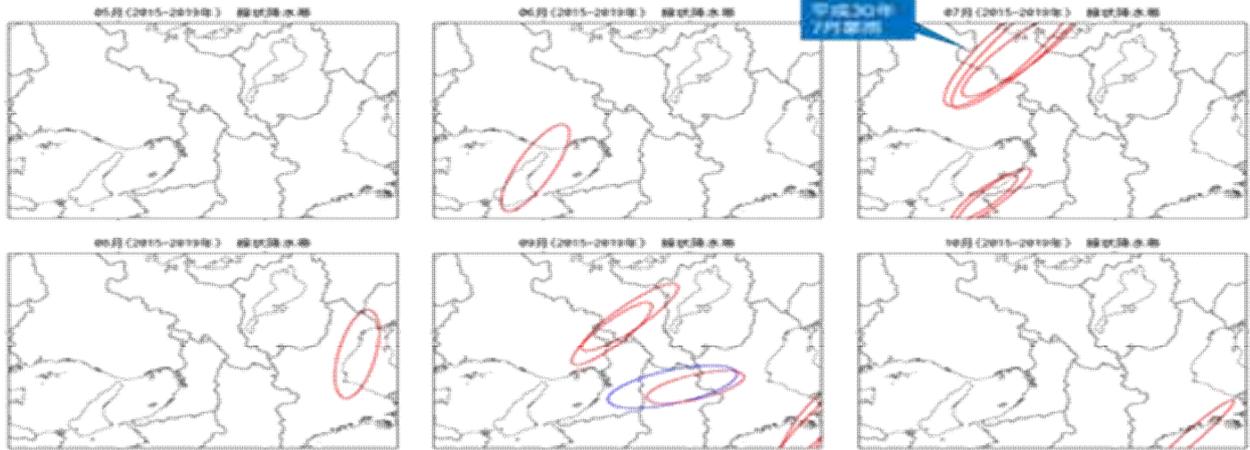


図-7 線状降水帯 (月別)

線状降水帯の発生時期や発生位置の特徴を整理するために、線状降水帯を楕円で近似して地図上(図-7)に表示した。近畿における線状降水帯の特徴を整理した。

- ・マルチセルと比較すると線状降水帯の発生数は非常に少ない。
- ・近畿における線状降水帯の走向は南西から北東の方向で一致している
- ・近畿において線状降水帯が発生しているのは7月から9月である。

(3) 偏波パラメータの比較

CMP深山とXMP六甲、XMP田口の偏波パラメータを比較した。(図-8) 比較方法として、レーダ別に1分間隔のCAPPIデータ(鉛直250m, 水平500m格子)を作成し、同一メッシュの偏波パラメータを散布図で比較した。

- ・CMPとXMPのZHはよく一致している。また、相関係数やRMSEの値も、XMP同士の値と同程度である。
- ・KDPについては、CMPの観測値を波長比補正することで、XMPの観測値と同程度になる
- ・CMPとXMPのZDRや ρ_{HV} は相関が低いが、元々レーダ間の相関が低いパラメータである

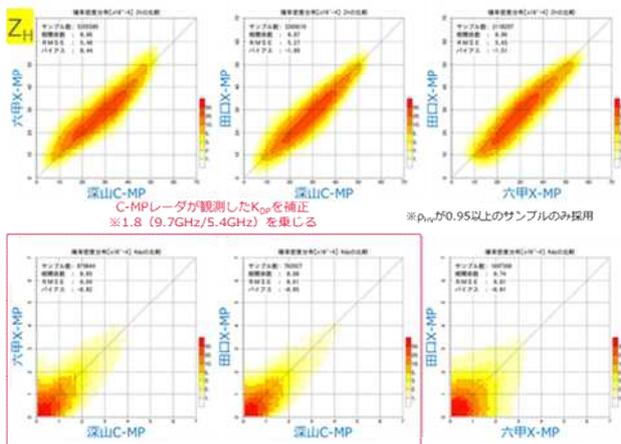


図-8 偏波パラメータ

(4) リアルタイム判定結果の比較

A案およびB案(図-9)についてマルチセル、線状降水帯事例の判定を行い、判定精度と処理時間について比較を行った。

- ①波長による偏波パラメータの特性に明確な違いがない
- ②マルチセルや線状降水帯の判定精度に大きな違いはなく、CMPのみの場合(B案)に誤判定事例が存在。
- ③A案の方がB案より35秒計算時間が短い
⇒A案が望ましい

マルチセル(上段)と線状降水帯(下段)の判定比較

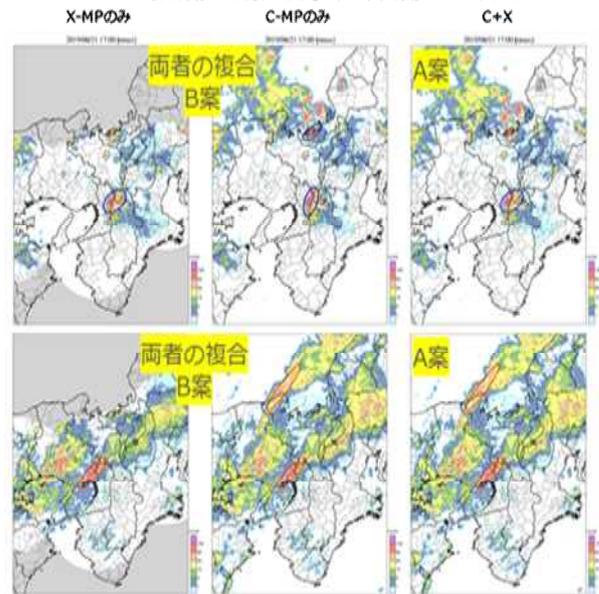


図-9 A案及びB案の比較

3. リアルタイム抽出アルゴリズムの開発

前項の検討結果を踏まえA案を対象として、以下の機能を有するリアルタイムプログラムを開発した。

- CAPPIデータの作成
- 鉛直最大降雨強度算出
- 降水粒子判別
- 降水セルの追跡
- 降水セル群の追跡
- マルチセル、線状降水帯の判定

4. リアルタイム検出システムの表示画面の検討

線状降水帯およびマルチセルのリアルタイム検出システムの表示画面およびレーダ観測値の3次元表示方法について検討を行った。また、リアルタイム処理に必要なサーバの仕様を検討した。

5. マルチセル・線状降水帯の発達・持続レベル

の予測可能性検証

(1)目的と検討フロー

マルチセル・線状降水帯の発生情報を防災業務に活用するにあたり、現況だけでなく、今後の発達・持続可能性に関するレベル情報が重要となる。そこで、気象庁GPVから計算される大気安定度や水蒸気、風の情報を活用し、発達・持続レベルの判定に有効な指標に関する検討を行う。

(2) 環境パラメータ

積乱雲の発生・発達や組織化に関する気象条件として、大気不安定、多量の水蒸気流入、鉛直方向の風のシアが知られている。そこで、これらの度合いを表す環境パラメータとして以下の9指標を検討した。

種類	環境パラメータ
大気の安定度	K指数 (KI) 、対流有効位置エネルギー (CAPE)
水蒸気流入	下層の水蒸気フラックスの収束量 (CFLX)
風の鉛直シア	下層鉛直シア (MS) 、ストームに相対的なヘリシティ (SREH)
合成指標	バルクリチャードソン数 (BRCH) 、エネルギーヘリシティ指数 (EHI) 、Kヘリシティ指数 (KHI) 、過度生成指標 (VGP)

(3)環境パラメータに用いるGPV

気象庁GPVのうち、環境パラメータの算出に必要な要素が揃うものは、GSM,MSM,LFMとなるが、線状降水帯やマルチセルの水平スケールが20~100km程度であるこ

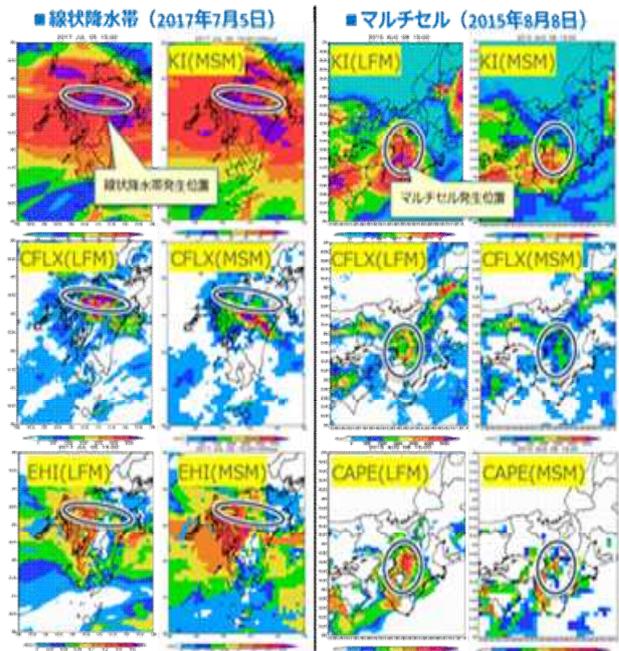
とを踏まえると、MSMとLFMが候補となる。

モデル	水平格子間隔	更新間隔	予報時間	初期時刻からの配信遅れ	上空データの要素
毎時大気解析	5km	1時間	30分以内	30分以内	風、気温
GSM	50km	6時間	132 時間	約3~4 時間	風、気温、湿度など
MSM	10km	3時間	39時間	約2~3 時間	
LFM	4km	1時間	10時間	約 1 ~ 1.5時間	

(4)環境パラメータの分布図による検証

線状降水帯やマルチセル事例に加え、台風や低気圧事例についても分布図 (図-10) を作成し線状降水帯・マルチセル事例との差を検証した。

- 線状降水帯は、KI、CFLX、SREH、KHI等の指標、マルチセルはKI、CFLX、CAPE、BRCHが高い傾向
- 線状降水帯やマルチセルの発生地域・時間を大まかに把握する際には、MSMとLFMの差は小さい。
- 台風や低気圧ではCAPEが低い。



(図-10) 分布図

(5) 環境パラメータの頻度分布の検証

- 対象期間：2015年~2019年の5月~10月 (暖候期)
- 環境パラメータ：上記期間の3時間毎のMSM-GPVから各環境パラメータの値を算出
- データベースの事例数 (近畿のみ) 線状降水帯の数：

14 マルチセルの数 : 175

□比較対象格子数 全期間の近畿全体 : 9851193 線状降水帯楕円内 : 74 マルチセルDBの楕円内 : 499

□データベースとの比較方法

線状降水帯、マルチセル内の格子について、当該格子±1格子(30×30km四方)の環境パラメータ最大値を抽出

各環境パラメータについて、線状降水帯またはマルチセル事例と近畿全期間の頻度分布を区別するためのしきい値と各しきい値を満足する割合を検証した。

近畿全期間の割合が低く、線状降水帯やマルチセルで割合の高い指標を組み合わせることで、有効なレベル情報の作成が可能と考えられる。

(6) レベル情報の作成方法の検討

状降水帯およびマルチセルの発生・持続ポテンシャルを予測するレベル情報の作成方法を検討した。

① 複数条件の組み合わせによる判定方法

有効な環境パラメータとしきい値を組み合わせ、複数条件により判定を行う

② 加算方式による判定方法

有効な環境パラメータとしきい値について、各しきい値を超過した場合に加算していき、その合計点で発生・持続ポテンシャルを評価する

③ ファジ理論を用いた判定方法

局地的豪雨探知システムにおける豪雨のタマゴ判定と同じく、環境パラメータごとにメンバーシップ関数を設定し、関数値を加重平均した統合指標を用いてレベル情報に変換する

④ 機械学習による方法

環境パラメータを説明変数、線状降水帯・マルチセル・その他の出現確率を目的変数として、機械学習による確率予測を行う

(7) 気象庁メソアンサンブルGPVの検討

定量予測の実現性に関する予備調査として、2019年に発生した線状降水帯およびマルチセル事例について、気象庁メソアンサンブルGPVの予測結果を検証した。

線状降水帯

100mm以上の降雨を予測しているメンバーは21、メンバー中2メンバーのみであり、MSMは予測できていない。線状降水帯の位置と量を正確に予測することはできていないものの、九州北部で線状降水帯が発生する可能性は表現されている。

マルチセル

20mm以上の降雨を予測しているメンバーは21メンバー中7メンバーである。MSMよりも強雨域の位置や量の再

現性が高いメンバーが存在する。

5. 今後の取組

1. 3次元偏波情報を活用したリアルタイム検出情報の検討

3次元偏波情報を活用しマルチセルの停滞・持続性の判断を行う。線状降水帯はこれまで国土政策総合研究所にて検討された方法等が存在するが、マルチセルは過去に検討されたものがなく、新たな検討が必要である。

2. 線状降水帯およびマルチセルの発生・持続ポテンシャルの検討

気象庁LFMを用いて、線状降水帯およびマルチセルの発生・持続に関連の深い環境パラメータを検討し、レベル情報作成のためのしきい値を検討する。MSMによる結果との比較を行う。

環境パラメータの組み合わせ方法の検討

線状降水帯およびマルチセルの発生・持続に関連の深い環境パラメータを組み合わせたレベル情報を検討し、精度評価を実施する。

3. 定量的降雨予測の検討

気象庁メソアンサンブル予報を用いて、ダムの予備放流、事前放流、特別防災操作を想定した予測雨量の活用方法を検討する。

① 全国を対象に線状降水帯及びマルチセルの発生事例に加えて台風事例を抽出し、淀川管内のダム流域面積相当の領域で各アンサンブルメンバーの予測雨量や α 値の検討を行う

② アンサンブルメンバーのばらつき情報を基に α 値を求める手法(山口・黒田・中北2019,線状降水帯豪雨予測に向けた水蒸気のアンサンブル予測情報の更新履歴解析)を適用し、線状降水帯等の予測への有効性を確認する。

謝辞: 本研究において、京都大学防災研究所の中北研究室の皆様にご多大なご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 中北英一・山邊洋之・山口弘誠: ゲリラ豪雨の早期探知に関する研究, 水工学論文集, 第54巻, 2010 2) 中北英一・山邊洋之・山口弘誠: XバンドMPレーダーを用いたゲリラ豪雨の早期探知と追跡, 京都大学防災研究所年報, 第54号B, 2011 3) 中北英一・西脇隆太・山邊洋之・山口弘誠: ドップラー風速を用いたゲリラ豪雨のタマゴの危険性予知に関する研究, 水工学論文集, 第57巻, 2013 4) 中北英一・西脇隆太・山口弘誠: ゲリラ豪雨の早期探知・予報システムの開発, 河川技術論文集, 第20巻, 2014

底部取水設備点検及び今後の設備運用方針について

吉川 祥太¹・齊藤 光悦²

¹水資源機構 香川用水管理所 (〒766-0004香川県仲多度郡琴平町榎井891-2)

²水資源機構 一庫ダム管理所 (〒666-0153兵庫県川西市一庫唐松4-1)

一庫ダムは、最低水位未満から取水可能な補助取水ゲート（底部取水設備）を保有している。当該ゲートは、平常時最高貯水位時で水深57mの位置に設置されており、点検が困難なゲートである。昨年度マルチビームソナーを用い、3次元データを作成しゲート周辺の状況調査及び点検を実施した。調査及び点検の結果、ゲート周辺には堆積物がなく止水確認ができ、設備の積極的な運用が可能であることがわかった。本稿では、これまでの点検実施状況及び今後の底部取水設備運用方針について報告・提案するものである。

キーワード 補助取水ゲート，マルチビーム

1. はじめに

一庫ダムは、淀川水系猪名川の支川一庫大路次川に位置するダムで、兵庫県と大阪府の県境を流れる猪名川流域唯一の水道水源として、流域のライフラインを支えている。都市近郊のダムである。一庫ダムには、最低水位未満から取水可能な補助取水ゲートが建設当時より設置されており、異常渇水時においても取水が可能となっている。近年の異常気象では、異常降雨のみならず、異常小雨による渇水のリスクも高まっており、当該設備の確実な動作が求められる。2018年度には、7月豪雨や台風の影響により、一庫ダムでは4回の洪水調節及び管理開始以降初となる異常洪水時防災操作を実施しており、例年の約2倍の総流入量を記録した。これに伴い、上流から土砂や流木等が多く流入している恐れがあったため、マルチビームソナーや水中ROVを用いて補助取水ゲート扉体周辺の堆砂状況等の確認を実施した。

2. 補助取水ゲートの運用状況

(1) ゲートの諸元等

補助取水ゲートは、異常渇水時以外の平常時は取水塔最下部にて全閉状態で待機している。ダム建設当時は油圧シリンダ式開閉装置を異常渇水時にゲート付近まで運搬し、取り付けた後、操作を行う想定で据え付けられていた。しかし、補助取水ゲートの使用が求められる緊急時において、開閉装置の運搬・取付が必要な構造では、操作可能となるまでに時間を要し、早急な対応とならないことから、2005年度に当時の管理所職員が操作性向上を目的に開閉方式の変更（油圧シリンダ式開閉装置からワイヤロープウィンチ式開閉装置）及び扉体の材質変更（SS400からSUS304）とし、現在では、常に操作可能な状態となっている。

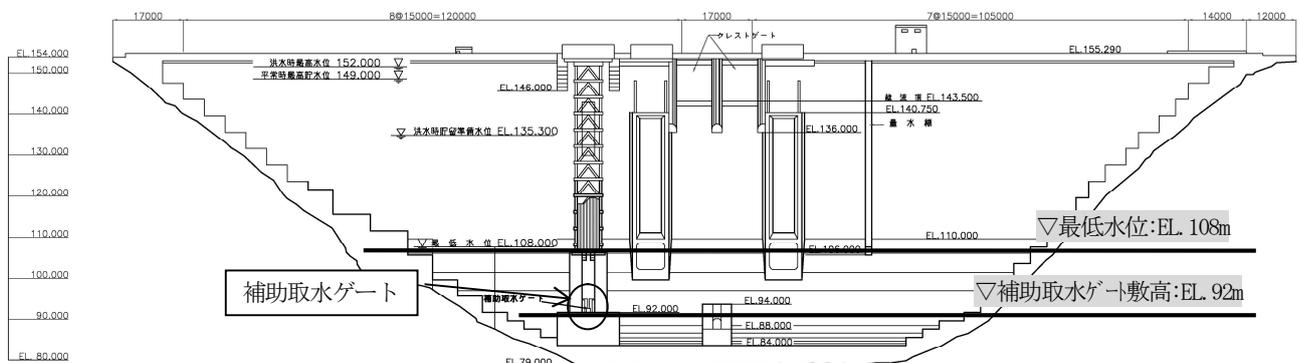


図-1 一庫ダム上流面図

表-1 補助取水ゲート諸元

名称	補助取水ゲート
形式	鋼製スライドゲート
純径間×有効高	1.90m×1.31m
開閉方式	ワイヤロープウィンチ式(手動)



写真-1 補助取水ゲート更新状況

(2) 現在までの点検状況

補助取水ゲートは、前述のとおり最低水位以下である堆砂容量内にゲートが設置されており、平常時最高貯水位時(EL149.00m)においては、水深 57m の位置となる。当該ゲートは、平常時に開操作した場合、夏季にあつては低層部における低温且つ貧酸素の水が取水される可能性があるため、操作を実施する場合は、低層部における水質状況の調査や関係機関への調整が必要となる。このため、全閉状態による水中での点検を実施することが好ましいが、高深度での潜水は、潜水士の安全性や最深部での作業時間に制約があることから、日常的に実施することは困難である。

従って、一庫ダムでは、低層部の水質状況が改善されたことを確認した後、ゲートの動作状況について点検し、設備の保守・保全を実施してきた。これまでの点検手法では、扉体周辺の状況について確認できておらず、異常漏水時のリスクが残るため、扉体周辺が健全であることを確認し、異常漏水時のリスクを軽減することとした。

3. マルチビームソナー等を用いた設備点検

(1) 点検概要

2018 年度の出水に伴い、堆積物が多大に流入している恐れがあったため、水中 ROV 及びマルチビームソナーを用いて補助取水ゲート扉体周辺の堆砂状況を確認した。

扉体周辺は補助取水ゲート用スクリーンや堆砂壁等の

障害物をはじめ、堆積物があることを想定し、自走可能な水中 ROV を選定した。また、河床の堆砂形状を把握するマルチビームソナーについては、ゲート周辺の壁面等の検出に優れたものを選定した。使用した機器は米 Blue Robotics 社製 Blue ROV2 (水中 ROV) 及び NORBIT 社製 iWBMS (マルチビームソナー) とした。

今回使用したマルチビームソナーは、一般的に堆砂測量等で使用されるマルチビームソナーと異なり、ソナーを受信する受波アレイが湾曲しており、側面からの反射音もアレイの正面で受けるので正確に壁面等を検出することが可能な仕様となっている。



写真-2 水中 ROV



写真-3 マルチビームソナー

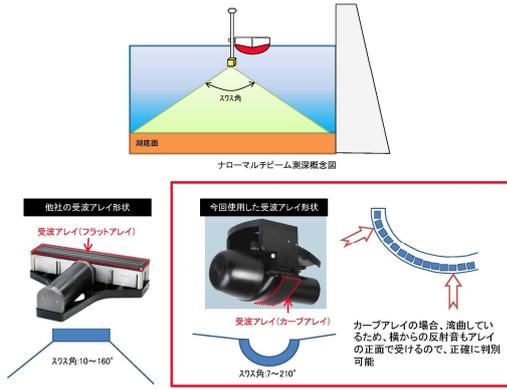


図-2 マルチビームソナーイメージ図

(2) 点検結果

調査の結果、水中ROVによる視認確認では、湖底部に着底するとシルト系の微粒子が巻き上がり視界を確認できず、遠方からの撮影が困難で部分的な映像となり、扉体の確認は出来なかったが、扉体前面のスクリーン周辺に堆積物は見られなかった。



写真-4 水中ROVによる扉体周辺状況

マルチビームソナーで測定したデータは、専用ソフトにて測定点の分布をモデル化することにより、扉体周辺の堆砂状況について確認を行った。以下のモデルより、補助取水ゲート敷高である、EL92.00mを超える堆砂はなく、扉体周辺の環境が健全であることがわかる。

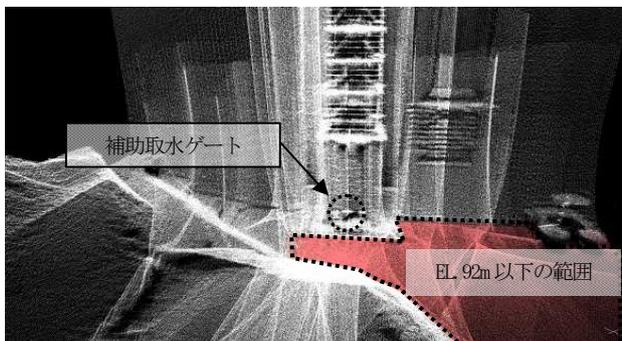


写真-5 マルチビーム測定結果 (モデル①)

また、測定データをモデル化したものがどの程度正確

に表示されているか確認するため、建設当時の扉体周辺写真と比較した。建設当時の写真と、同様の角度でモデル化したデータを以下に示す。

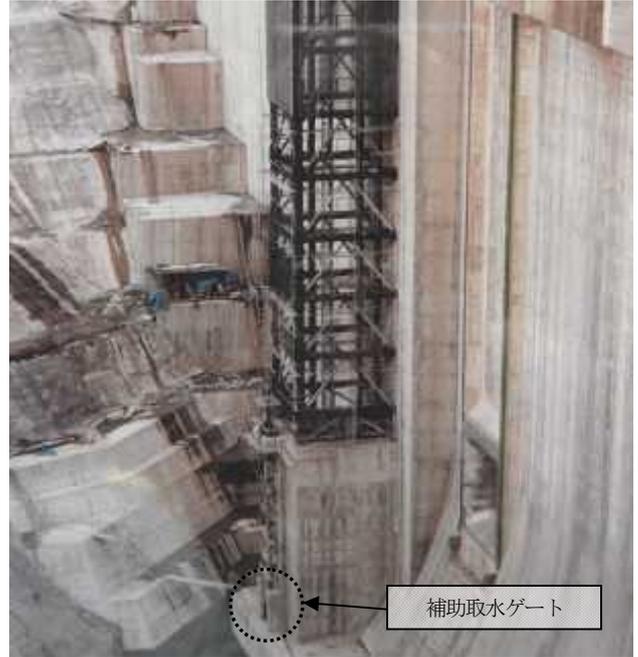


写真-6 建設当時の取水塔外観

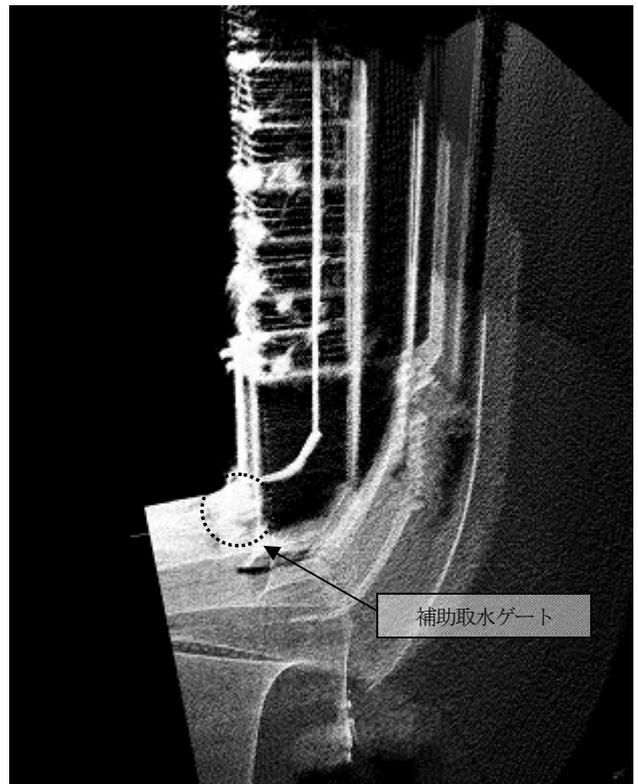


写真-7 マルチビーム測定結果 (モデル②)

モデルと建設当時の写真では、構造物等の見え方がほとんど変わらず、扉体周辺の状況について十分な視認化が行えることが分かる。また、マルチビームソナーは目的物までの距離を計測するものであることから、写真-5

のように指定された標高より低いものだけを着色し、目的物周辺の堆砂状況を明確に表すことが可能である。

水中 ROV 及びマルチビームソナーによる調査の結果、扉体周辺には大型の堆積物はなく、堆砂の進行も見られなかったため、従来通りゲートの動作試験を行い、点検を実施した。補助取水ゲートは水中部に設置されており、着床状態を確認することが出来ないため、開閉装置付き開度計及びワイヤロープの状態で全閉確認し、併せてダム下流地点における濁度及び水温について点検前の状態と比較し、同程度であったことから、ゲートは全閉状態で止水していると判断し、設備の健全性が確認された。

4. 今後の設備運用の検討

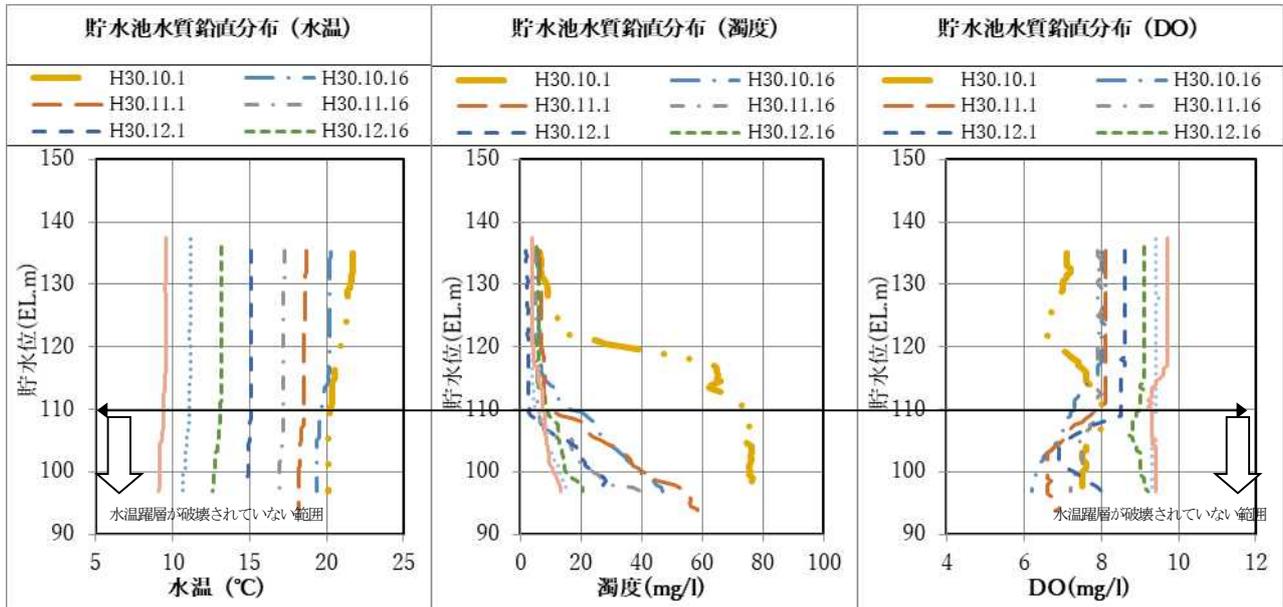
今回の調査で補助取水ゲート周辺は健全な状態であることがわかった。今後も健全な状態を維持するうえで、扉体周辺の堆砂進行を抑制することは非常に重要である。従って、定期的に補助取水ゲートからの取水を継続的に実施する必要がある。設備の健全性を維持するため、定期的な取水を行うと、ダム貯水池内の水質環境の改善効果も期待できる。

図-3 は一庫ダム貯水池の水質鉛直分布をグラフ化し

たものである。ダム貯水池では、一般的に冬期から春先にかけて、水温躍層が破壊され全層循環となる。しかし、一庫ダムでは、約 EL110.00m 以深にて、表層部と低層部で約 1℃ の水温差が循環期に入っても残り続ける。この微少な水温差によって、低層部の濁度が表層部に比べ高く、DO は低層が低い状態が冬期においても継続する傾向にある。

循環期である冬期に、補助取水ゲートから取水することにより、低層が表層と同様の水質に入れ替わると考えられる。水温差が解消され、水温躍層が破壊されれば、低層における濁度の低下や DO の上昇効果が期待できる。濁度の低下は、扉体周辺の堆砂の進行を抑制することにつながると考えられる。また、DO が上昇すれば、春先から夏期に発生する低層部の DO の低下時期を延伸（嫌気化リスクの軽減）する効果が期待できる。一庫ダムでは、低層部の嫌気化対策として深層曝気装置が設置されているが、低層部の DO 低下時期を延伸できれば、深層曝気装置の稼働期間を短縮でき、管理費軽減につながる。

以上の効果が期待できるため、今後は一定期間の取水を行う運用を行い、設備の健全性を維持するものとする。また、水質に対する影響についても調査を実施することとしたい。



5. まとめ

本点検における事前調査では、壁面等の検出に優れたマルチビームを活用することにより、水中部における堆砂状況を可視化することができ、その成果は施設監視において重要な役割を担う結果となった。

今回の点検により、設備の健全性が確認された。今

後は、設備の健全性や水質を考慮した効率的な運用を実施し、常に設備が使用可能な状態を維持していくこととする。

謝辞: 終わりに事前調査においてご協力を賜りました近畿実測株式会社 (現: 太洋エンジニアリング株式会社) に対し本誌を借り改めてお礼を申し上げます。

阪神高速道路における入路誤進入対策とその評価

中田 諒¹・兒玉 崇²

¹国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

²阪神高速道路株式会社 管理本部 大阪保全部 保全管理課
(〒552-0006 大阪府大阪市港区石田3-1-25)

入路誤進入は本来の目的地へ到達する上で多大なロスとなるほか、逆走を誘発することもあり、その対策は重要である。本稿は、阪神高速道路において誤進入の多い入路を対象に、各種の交通データ等を活用することにより、入路誤進入による損失がこれまでに実施してきた各種の対策によってどれほど改善されたか評価するとともに、未だ一定発生している誤進入をゼロとすべく誤進入車両の振る舞い等をより詳細に分析した結果等を報告するものである。

キーワード 入路誤進入対策、逆走対策、ETC-ODデータ、ETC2.0プローブデータ

1. はじめに

高速道路の入路に誤進入した車両が取りうる行動としては、やむを得ずそのまま高速道路を利用し直近の出路から流出後に引き返すか、入路上をUターン又はバック走行により引き返す2つのパターンが考えられる。前者は本来の目的地へ到達する上で多大なロスとなり、サービス水準の低下につながるほか、後者は今般社会問題として広く認識されている「高速道路の逆走」にあたる交通安全上の重大なリスクとなりうる。表-1は阪神高速道路における逆走の発生件数を形態別に分類したものである。形態ごとにリスクの程度は異なるが、③の街路から入路へ進入し入路上を逆走する形態が大半を占めていることが分かる。以上から入路誤進入対策は重要な施策といえよう。

阪神高速道路株式会社では「逆走・誤進入ゼロ」に向けて、逆走件数の多い入路を中心に注意喚起標示を設置する等して対策を進めているが、その評価は主に逆走件数の推移を観測することに留まっており、逆走は未だ一定発生している状況にある。

そこで、本稿では今後の入路誤進入対策の展開に資する知見を得ることを目的として、表-2に示すように阪神高速道路において最も誤進入の多い天保山入路を対象に、各種の交通データを活用することにより、入路誤進入による不経済がこれまでに実施してきた対策によってどれほど改善されたか定量的に評価するとともに、未だ一定発生している誤進入をゼロとすべく誤進入車両の振る舞い等をより詳細に分析した結果等について報告するものである。

表-1 阪神高速道路における逆走発生状況

逆走の形態	件数
① 街路から出路へ進入（ランプで停止）	2
② 街路から出路へ進入（本線に至る）	3
③ 街路から入路へ進入し入路上を逆走	1,037
④ 街路から入路へ進入し本線上を逆走	3
⑤ 本線を逆走	0
⑥ 本線から入路へ進入し入路上を逆走	4
⑦ 本線から出路へ流出し出路上を逆走	8
⑧ 本線料金所手前で逆走	6

集計期間：2019年4月から12月まで
料金所の多い入路は出路より認知機会が多いことに注意

表-2 阪神高速道路における逆走発生入路ワースト5

入路	2016	2017	2018	合計
1 天保山入路	534	628	257	1,419
2 阿倍野入路	129	63	73	265
3 六甲 IS 北入路	111	104	37	252
4 駒川入路	126	55	31	212
5 深江浜東入路	44	66	35	145

集計期間：2016年度から2018年度まで

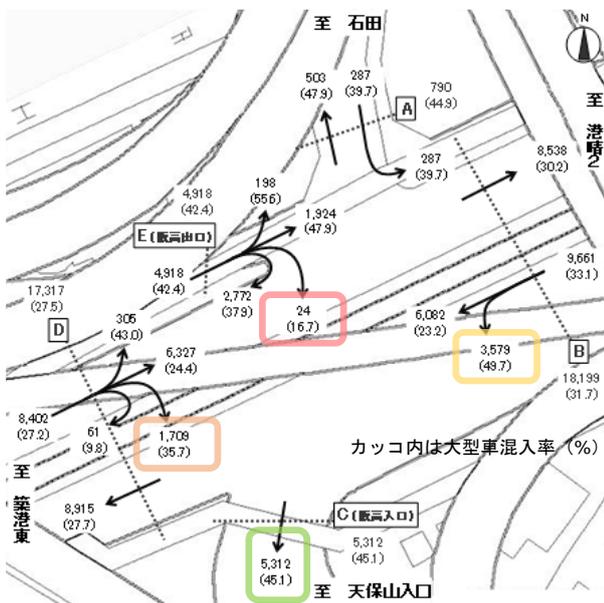
2. 天保山入路の概要と周辺交通流態

(1) 天保山入路の概要

天保山入路は、大阪市港区に位置する阪神高速4号湾岸線・5号湾岸線・16号大阪港線の入路である。図-1に示すように国道172号（みなと通り）西行と接続しており、複数方面からの進入経路が存在する。

(2) 周辺の交通流態

図-2は2018年11月29日(木)に実施した12時間交通量調査の結果である。天保山入路交通量の5,312台(100%)の内訳をみると、国道172号西行から左折



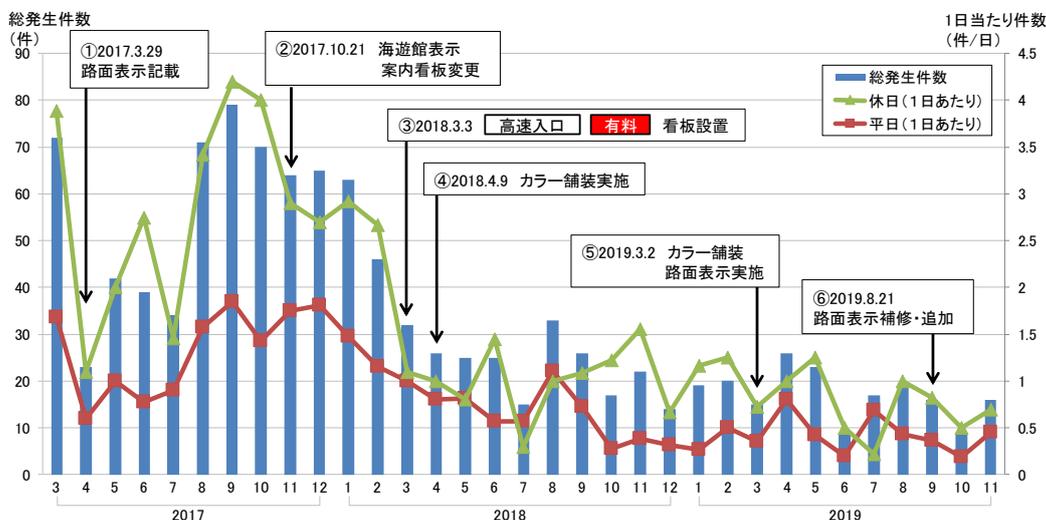
により入路へ進入するものが3,579台(67%)、同道東行からUターンにより入路へ進入するものが1,709台(32%)、そして、阪神高速天保山出路から退出後にUターンにより入路へ進入するものが24台(0.5%)となっている。なお、同調査を1年前の同時期に実施しているが、交通流態に大きな変化はみられなかった。

3. 天保山入路の誤進入件数推移と対策状況

図-3は天保山入路の誤進入(逆走)件数の推移と対策の実施時期を、図-4は対策状況を示したものである。

誤進入件数に目立った季節的変動は見受けられない。また、件数を入路交通量で割り戻した指標を確認しても特徴的な変動パターンは見受けられなかった。

対策は、まず2017年3月に「阪神高速」の路面標示を国道172号西行の入路手前に設置した(①)。当該箇所は6車線あり、うち左3車線がそのまま入路へ流入する運用となっているためこれを明示したものである。直後の4月から7月にかけて誤進入件数が減少したように思われたが、8月より再び件数は増加している。次に、同年12月に国道172号東行及び天保山出路からUターンにより入路へ進入する車両を対象に、Uターン後の方向を案内する看板を改良した(②)。その後、2018年3月に、入路門構に「有料」の看板と入路前上部に「高速入口」の特大看板を設置し(③)、4月には街路との境界付近に高速道路領域を示す緑のカラー舗装を設置した(④)。これらの対策により、件数は大きく減少したが、その後も月あたり20件前後で推移していることから、追加対策として、2019年3月に街路側にもカラー舗装を設置した(⑤)ほか、2019年8月に摩耗により視認性が悪くなっていた一般街路の区画線を復旧するとともに高速入路と一般街路の境界を明示する区画線を設置した(⑥)。



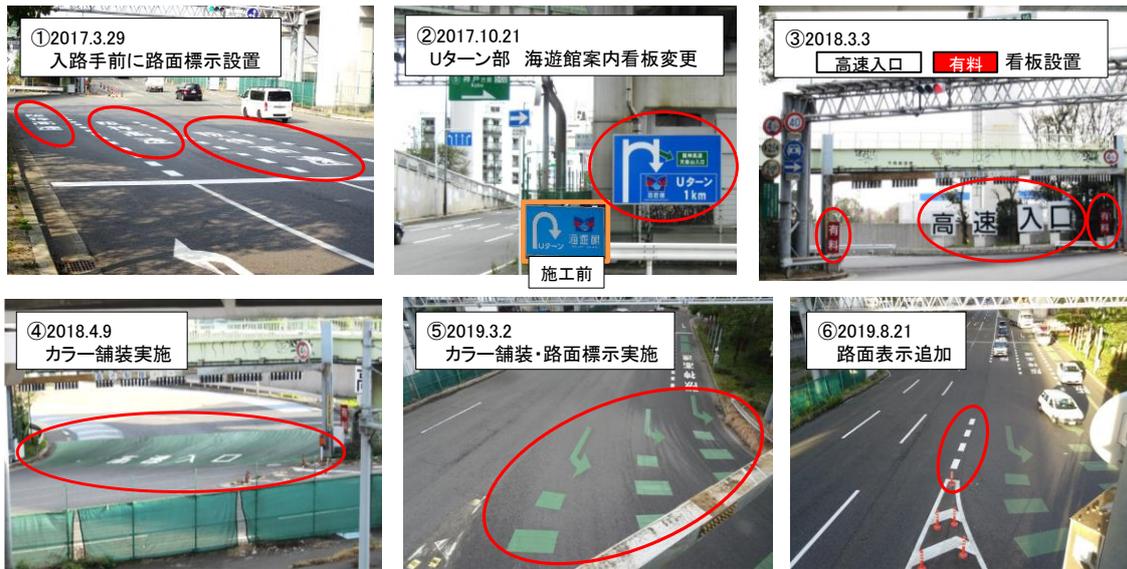


図-4 天保山入路の誤進入対策状況

4. 行動パターン別の対策評価

第1章で述べたとおり、入路に誤進入した車両が取りうる行動は、そのまま高速道路を利用し直近の出路から流出後に引き返すか、入路上をUターン又はバック走行により引き返す2つのパターンがある。本稿では、前者を「リカバリ行動パターン」、後者を「逆走行動パターン」と定義する。第3章で示した誤進入件数は、入路における逆走を通報や映像、料金収受員の目視により確認した件数を集計したものであり、逆走行動パターンそのものと捉えて評価してよい（ただし、記録者によるばらつきには注意が必要である）。一方、リカバリ行動パターンは、申し出の無い限り直接的に観測することが難しい。これについては、本章第2節でETC-ODデータを活用する方法¹⁾により分析を試みた例を紹介する。

(1) 逆走行動パターンに対する評価

ピーク時（2017年9月）は月あたり80件近く発生していた逆走件数が、各種対策を経て、2018年秋以降は月あたり20件前後で推移するようになった。特に2018年3月と4月に実施した対策③④は、いずれの進入経路も対象となることから効果的であったと推察される。その他①②⑤⑥については、効果の度合を評価することは現状では難しいが、現地状況を踏まえて検討した対策であることから、潜在的な予防効果は一定有しているものと考えられる。

(2) リカバリ行動パターンに対する評価

ETC-ODデータを活用してリカバリ行動パターンに対する評価を試みる。図-5にリカバリ行動の概念を示す。本稿では天保山入路から流入した車両のうち、近傍の出路で流出し直近の入路に10分以内に流入した車両をリカバリ行動パターン（リカバリ車両）と定義した。分析対象は、誤進入件数のピーク時付近の2017年7月～9月と現在実施されている対策が全

て完了した時期付近の2019年7月～9月とした。前期を「対策前」、後期を「対策後」とする。時期設定の参考としている誤進入件数はいわゆる逆走行動パターンの車両であるため、本節で分析対象となる車両とは異なることに注意したい。なお、リカバリ行動の対象出入路は図-6に示す出入路を設定した。

a) リカバリ車両台数の変化

対策前後のリカバリ車両台数を表-3に示す。対策前は110台/3か月、対策後は88台/3か月で、対策前に比べて22台/3か月（20%）の減少となっており、対策がリカバリ車両の減少にも寄与している可能性がある。また、車種別にみると普通車が14件/3か月の減少とその幅が最も大きい。

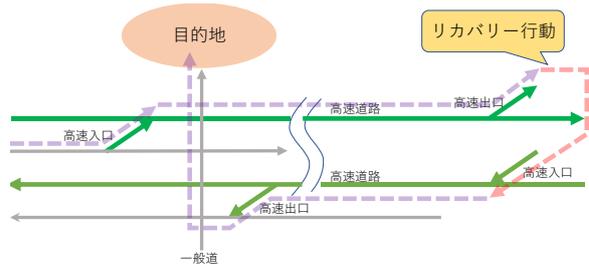


図-5 リカバリ行動の概念

表-3 対策前後のリカバリ車両台数（台/3か月）

	2017年 7月～9月	2019年 7月～9月	差分
特大車	1	1	0 (±0%)
大型車	5	7	+2 (+40%)
中型車	16	10	△6 (△38%)
普通車	71	57	△14 (△20%)
軽自動車	17	13	△4 (△24%)
合計	110	88	△22 (△20%)

普通車にはトレーラーヘッドと身障者割引車両を含む
軽自動車にはバイク等を含む

表-4 出入路別の対策前後のリカバリ車両台数 (台/3か月)

方面	形態	入路 1	出路 1	入路 2	出路 2	2017年 7月～9月	2019年 7月～9月	差分
4号 湾岸線	4-1	天保山	南港北	南港北	天保山	48	15	△33
	4-2	天保山	南港中	南港中	天保山	7	12	+5
	4-3	天保山	南港北	南港中	天保山	1	1	0
	4-4	天保山	南港中	南港北	天保山	2	2	0
5号 湾岸線	5-1	天保山	湾岸舞洲	湾岸舞洲	天保山	16	19	+3
	5-2	天保山	中島	中島	天保山	17	16	△1
2号 淀川左岸線	2-1	天保山	UC	島屋	天保山	8	10	+2
	2-2	天保山	島屋	島屋	天保山	3	1	△2
16号 大阪港線	16-1	天保山	波除	波除	天保山	6	12	+6
	16-2	天保山	西長堀	西長堀	天保山	0	0	0
	16-3	天保山	西長堀	波除	天保山	2	0	△2
	16-4	天保山	波除	西長堀	天保山	0	0	0

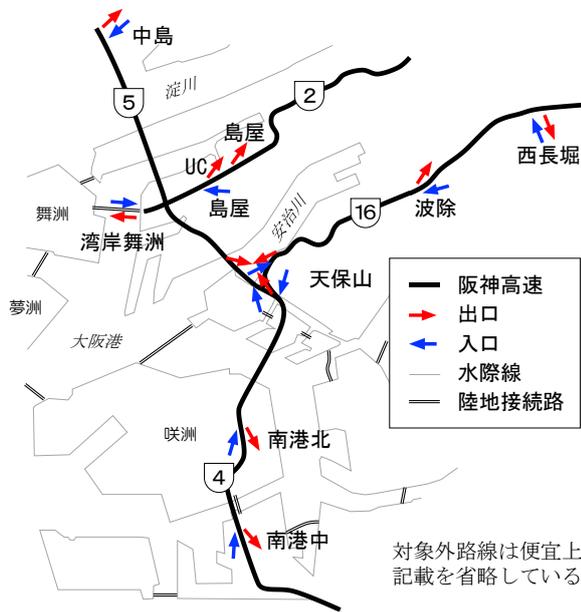


図-6 天保山入路に関連するリカバリ対象出入口

また、表-4に示す出入路別の対策前後のリカバリ車両台数をみると、特に減少したものは形態4-1の4号湾岸線方面の南港北で、対策前48台/3か月が対策後15台/3か月となり33台/3か月（68.8%）の減少となった。対策前の発生件数も最も多く、入路誤進入に加えて、料金所通過後の方面分岐を誤っていた可能性が示唆される。

b) 経済価値換算

本項では対策によりリカバリ行動が減少した経済的価値を試算する。式(1)を定義しリカバリ車両1台ごとの不経済 V を算出集計し、これを対策前 (*without*) と対策後 (*with*) で比較する。

$$V_{without,with} = \sum_{i=0}^n (T_i^r + T_i^s + t_i^{rs} \cdot a_i) \quad (1)$$

- T_i^r : 車両*i*の誤進入入路からリカバリ出路までの料金 (円)
- T_i^s : 車両*i*のリカバリ入路から誤進入入路近傍の出路までの料金 (円)
- t_i^{rs} : 車両*i*のリカバリに要した時間 (分)
- a_i : 車両*i*の車種に該当する時間価値 (円/分・台)²⁾

表-5 対策前後のリカバリ行動による経済的損失

	2017年 7月～9月 <i>without</i>	2019年 7月～9月 <i>with</i>
リカバリ車両台数	110台	88台
損失額合計	131,857円	97,613円
損失額1台あたり	1,198円	1,109円

なお、時間価値 a_i については、便宜的に一律で各車種の原単位の平均値 (49.94円/分・台) を用いた。対策前後のリカバリ行動による損失額の試算結果を表-5に示す。対策前が110台/3か月が対象で総額131,857円。対策後が88台/3か月が対象で総額97,613円となり経済的損失は34,244円軽減された結果となった。1台あたりの損失額は、対策前が1,198円、対策後が1,109円であった。少なくとも天保山入路に誤進入しリカバリ行動を1回おこなうことで平均的に1台あたり1千円以上の損失が生じていることが明らかとなった。

5. ETC2.0プローブデータを用いた詳細な行動分析

第4章では、逆走件数記録やETC-ODといった高速道路上で観測されるデータから対策効果を評価したが、誤進入車両が一般街路を含めて具体的にどのような振る舞いをしているかは把握できていない。他方、近年普及率が向上しつつあるETC2.0プローブデータは一般街路も含めた車両軌跡等の情報がGPSにより記録されていることから、入路誤進入行動をより詳細に分析できる可能性がある。そこで、本章ではETC2.0プローブデータを用いて詳細な行動分析を検討した。なお、分析にはETC2.0プローブデータのうち「様式2-1」と呼ばれる経路データと「様式1-2」と呼ばれる走行座標が一定間隔で記録されたドットデータのフォーマットを主に用いた。

表-6 誤進入後に再び高速道路を利用してリカバリ行動をおこなった車両の抽出

要件	2017年9月		2019年9月	
	トリップ数	割合	トリップ数	割合
Step0 天保山入路に流入	1,634	100%	6,130	100%
Step1 入路手前経路あり（進入経路判定可）	1,450	88.7%	5,400	88.1%
Step2 直近の出路から流出	100	6.1%	644	10.5%
Step3 近傍の入路に再流入	2	0.1%	6	0.1%
Step4 10分以内の再流入	1	0.1%	3	0%
Step5 ETC-OD データとの一致	0	0%	1	0%

(1) リカバリ行動パターンの詳細分析 その1

天保山入路で誤進入後に再び高速道路を利用してリカバリ行動をおこなった車両を、表-6に示すStepで抽出した。Step5では通常のETC-ODデータとのマッチングを試みた。ETC2.0プローブデータは、プライバシーに配慮し、車載器IDが毎日リセットされるため、誤進入車両の日常的な天保山入路の利用頻度が不明である。そこで、出入路の通過日時を元に双方のデータをマッチングすることで、誤進入車両の利用頻度属性の把握を試みたものである。

結果をみると、天保山付近は高架が多く位置データの精度が悪くなるためかStep1で進入経路が判定できないトリップがすでに10%程度生じた。Step2では、直近の出路で流出する車両を抽出するため、全体の1割程度までトリップ数が絞られる。その後、Step3~4の条件を加味すると、トリップ数はそれぞれの期間でわずかに1トリップと3トリップとなった。また、Step5においてETC-ODデータ一致したのは対策後の1トリップのみであった。Step4において対策後の方が発生件数は増えているが、ETC2.0プローブデータは普及途上の少サンプルデータであることから、定量的な比較は困難である。トリップの「振る舞い」に着目した分析として、Step5で唯一ETC-ODデータと一致した1トリップについてその移動の詳細を分析した（図-7）。推測されるシナリオを以下に示す。

- 1: トリップ開始地点（赤）から本来の目的地（青）に向かうが、交差点Bで右折すべきところ、誤って手前の交差点Aで右折
- 2: 右折後の直進方向と勘違いし天保山入路に誤進入してしまい、やむを得ず阪神高速を利用
- 3: 直近の南港北出路で流出し一般街路へ
- 4: 南港北入路で阪神高速に再流入
- 5: 直ぐに天保山出路で一般街路に流出したものの、しばらく迷走した後、本来の目的地に到着

(2) リカバリ行動パターンの詳細分析 その2

天保山入路で誤進入後に一般街路を利用してリカバリ行動をおこなった車両を抽出する。高速道路によるリカバリは対象の出路リンクをチェックすればよいが、一般街路は利用経路のパターンが多く、トリップ毎に目的地が異なるため通過リンクをチェックする方法が使えない。そこで、データへ事前に付与したセンサスBゾーン単位のOD情報を用いて

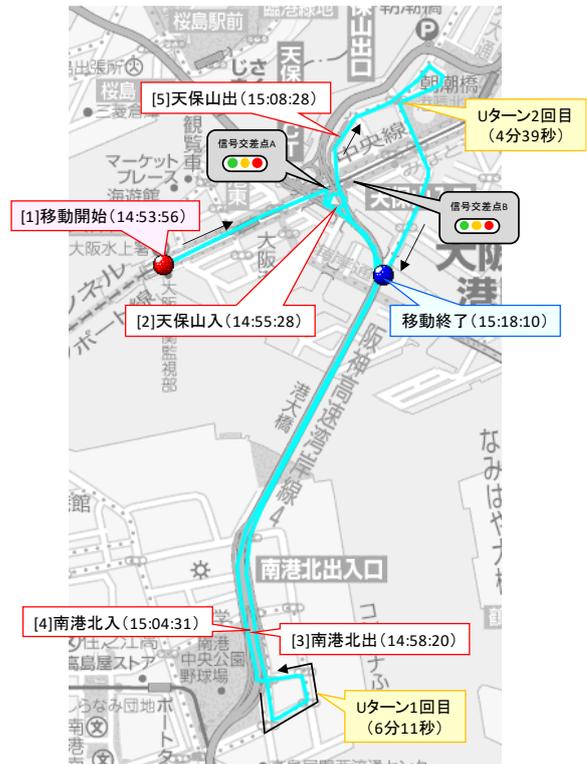


図-7 ETC2.0プローブデータによる誤進入後軌跡の描画（高速道路によるリカバリ行動）

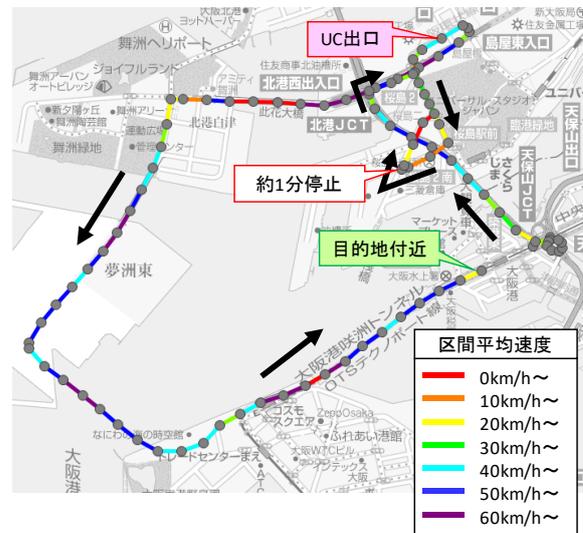


図-8 ETC2.0プローブデータによる誤進入後軌跡の描画（一般街路によるリカバリ行動）

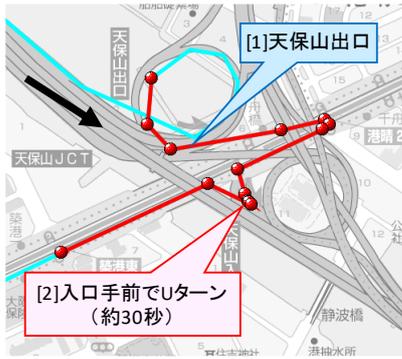


図-9 ETC2.0プローブデータによる誤進入後軌跡の描画 (逆走行動)



図-10 特定の誤進入形態をねらった対策例 (出路車両への注意喚起標示)

「天保山付近のゾーンを目的地とするトリップ」を対象に抽出を行った。抽出されたデータは本章第2節と同様ごく僅かであったが、その一例を図-8に示す。これをみると、天保山入路より進入後、UC出路から一般街路に流出後にしばらく走行した後に1分ほど停止している。その後は最終目的地である天保山付近までどこにも立ち寄っていない。したがって、このトリップは天保山入路で誤進入した可能性が高いと考えられる。

(3) 逆走行動パターンの詳細分析

ETC2.0プローブデータのドットデータ (様式1-2) を用いて、天保山入路で誤進入に気づき、Uターン又はバック走行で一般街路に逆走するトリップを抽出した。ETC2.0プローブデータの測点は「200mごとに、又は進行方向が前測点より45度以上変化した時に」取得されるため、Uターンやバック走行という車両挙動がどのようなデータとして記録されるか未知であった。本稿では、天保山入路を中心として半径30m以内に含まれる全てのドットデータを抽出し、トリップごとにそのドット数を集計、一定数以上のドットが含まれるトリップを描画し目視により確認した。逆走と思われるトリップの一例を図-9に示す。天保山出路から流出後、交差点でUターンし天保山入路手前まで進入しているが、約30秒逆走と考えられる連続した位置データが取得され、その後、国道172号に戻っていることが分かる。

以上、いずれの行動パターンについても現状では少サンプルながら、誤進入の振る舞いを詳細に把握できる方法としての可能性が示唆された。これにより図-10に示すような特定の誤進入形態をねらった対策立案等にフィードバックが可能となる。これは、天保山出路を流出しUターンした後に天保山入路へ誤進入している車両の存在を踏まえた対策例である (2020年4月設置)。これ以外にも、未だ一定発生している誤進入についてETC2.0プローブデータを用いて詳細に分析することにより、逆走・誤進入ゼロに向けた対策を進めることができると考えられる。

6. おわりに

本稿では、阪神高速道路において誤進入の多い入路を対象に、各種交通データを活用することで入路誤進入による不経済が対策によりどれほど改善されたか定量的に示すとともに、誤進入車両の振る舞い等をより詳細に分析した結果等を報告した。

得られた主な知見は、以下のとおりである。

- 逆走行動パターンの減少に対しては、特に2018年3月の「有料」看板、「高速入口」特大看板の設置、4月の緑色カラー舗装の両方、あるいはいずれかが効果的であったと考えられる
- 直接的な観測が難しいリカバリ行動パターンについてもETC-ODデータの分析により一定効果があったことを確認できた
- リカバリ出入路として南港北が突出しており、入路誤進入に加えて、料金所通過後の誤分岐も発生している可能性がある
- 高速道路でリカバリ行動を1回おこなうことで (少なくとも天保山入路では) 平均的に1台あたり1千円以上の損失が生じていることが分かった
- ETC2.0プローブデータを活用した誤進入車両の詳細分析方法について、少サンプルながら実用に耐えうる方法であることを確認した

特にリカバリ行動パターンの詳細を明らかにできたことは、目に見えづらい不経済や逆走リスクの低減につながる重要な成果といえよう。課題としては、ETC2.0プローブデータの分析をより機械的に実施できる仕組みの構築などが考えられる。引き続き逆走・誤進入ゼロに向けて取り組んでいきたい。

本稿は著者1の従前の所属 (阪神高速道路株) における所掌内容をとりまとめたものである。

参考文献

- 1) 劉冰, 宇野巧, 井上徹: ETCデータを活用した誤退出・誤進入等に関する定量的な把握, 高速道路と自動車, Vol.62, No.5, pp.19-22, 2019.
- 2) 国土交通省道路局都市局: 費用便益分析マニュアル, p.7, 2018.

3Dを活用した堤防設計について

山口 司真¹

¹近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 調査課 (〒620-0875京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

京都府北部に位置する由良川由良地区及び並松地区の築堤計画において、UAV測量・地上レーザ測量により、CIMモデルを作成し、景観に配慮した堤防・樋門予備設計を実施した。その結果、整備イメージの共有化や、概算数量、工程の把握に有効であることが確認でき、CIM (Construction Information Modeling) の活用に対する課題も見えた。

本論文は、堤防設計段階でのCIMモデル作成を通して、メリット・デメリットを整理し、今後の活用の参考とするものである。

キーワード BIM/CIM, 概略設計, 築堤,

1. はじめに

CIM (Construction Information Modeling) とは計画・調査・設計段階から3次元モデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても3次元モデルに連携・発展させることで事業全体にわたる関係者間で情報を共有し、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図ることを指す。海外では、建築と土木を含めた取組をBIM (Building Information Modeling) と呼称しており、CIMという呼称では海外で日本の取組が理解しづらいため、CIMの前にBIMを付けた呼称「BIM/CIM」と呼ばれている。

CIM (3次元モデル+属性情報)

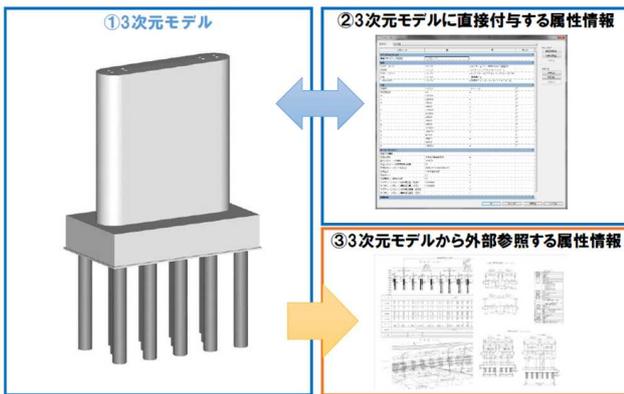
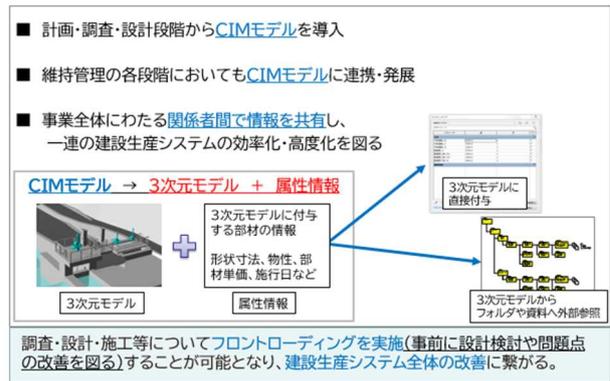


図1 CIMモデルの考え方イメージ図

CIMモデルは3次元モデルに属性情報を与え、モデルが何であるのかを判別する。図1にCIMモデルの考え方イメージ図を示す。



プロセス全体でのモデル共有による建設生産システムの高度化、他分野での活用

- 構造物、工程（時間）、コスト等の一元管理 ……クラウド上のデータベースに、3次元データ、コスト、時間等の情報を一元的に管理し、関係者間で必要な情報を共有・反映。
- フロントローディングの実施 ……設計初期からシミュレーション等を実施し、事前に問題点等の改善(手戻り防止)。
- コンクリートエンジニアリングの実施 ……各プロセスにおいて調査、計画、設計、積算、施工、維持管理の立場から、データベースの相互活用、並行変更が可能。

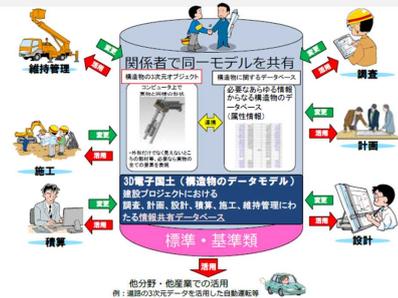


図2 モデルの共有による生産システムの高度化

計画・調査・設計段階からCIMモデルを導入し、維持管理の各段階においてもCIMモデルに連携し発展させることが可能となる。

プロセス全体でのモデル共有による建設生産システムを高度化し、それらのデータを他分野でも有効に活用す

ること無駄を少なくし、効率化を図れ、同一モデルにする事で調査・計画から施工維持管理にあたるまで活用が出来ると考えられる。(図2)

2. 由良地区、並松地区堤防設計の概要

(1) 由良地区堤防設計

由良地区堤防設計は由良川水系河川整備計画に位置付けられている。堤防整備にあたり北前船の寄港地となっていた歴史や、市より景観に配慮して欲しいという意見等があり、景観に配慮した堤防設計が必要とされる。図3に位置を示す。

(2) 並松地区堤防設計

並松地区堤防設計は、由良川水系河川整備計画に位置付けられている。堤防整備にあたり、松、桜の配置、護岸のイメージなど景観に配慮した堤防設計が必要とされる。

図3に位置を示す。

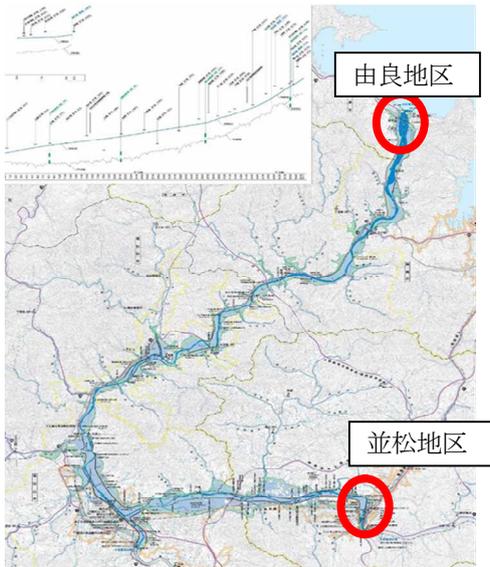


図3 堤防設計地区

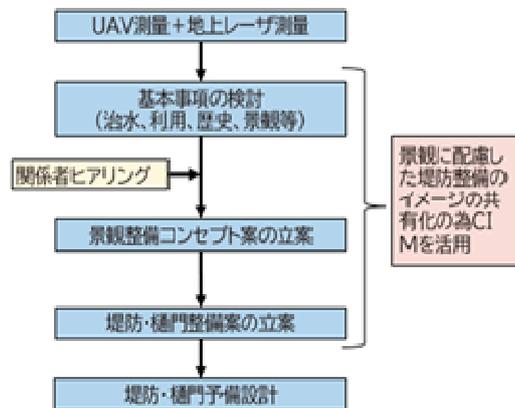


図4 景観配慮としてのCIMの活用範囲

3. 景観に配慮したCIMモデルの活用

由良地区、並松地区の景観に配慮した堤防整備を実施にあたり、整備により変わる景観のイメージを共有化を目的にCIMモデルを活用した。これにより、図面だけでは伝わらない圧迫感の確認や、様々な視点からの見え方について確認が可能となった。様々な視点で確認できるモデル図を図5~11に示す。



図5 並松地区 CIMモデル現況



図6 並松地区 計画CIMモデル



図7 並松地区 階段の取り付け 現況



図8 並松地区 階段の取り付け 計画



図9 並松地区 別視点 現況



図10 並松地区 別視点 計画

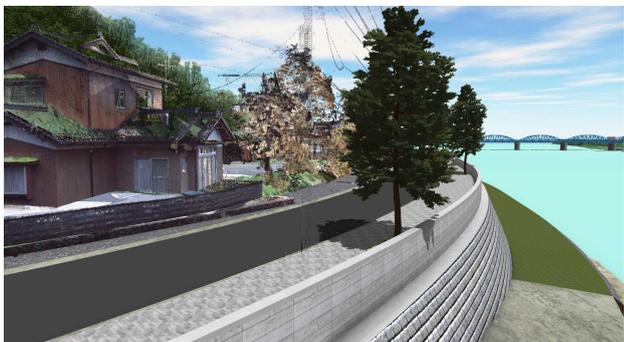


図11 並松地区 別視点 計画

4. 由良地区・並松地区の堤防設計においてCIMモデル作成により得られた効果

(1)確認できた効果

CIMに期待されている効果には、合意形成が速くなる、比較・概略検討が容易になる、設計変更が容易になる、意思決定が速くなる、設計ミスや手戻りが減る、CIMと情報化施工のデータ連携、現場の安全確保、施工性向上、工期短縮、的確な維持管理等がある。

並松地区、由良地区の堤防概略設計では、住民説明や関係者協議の資料にCIMモデルで作成した絵や動画を用いることで、イメージが持てるわかりやすい資料の作成ができた。並松地区の計画検討で作成したCIMモデルである。複数パターンへの検討が実施しでき、比較検討が容易であった。また、様々な角度から完成写真のように確認できるので、設計ミスを未然に防ぐことに繋がった。

(2)確認できた課題

点群データは、架空線との離隔も把握できる程、データが詳細であるが、データ容量が大きくPC環境などを整備する必要がある。

3次元点群データの扱いとして、堤防法面の植生を測量してしまうので、フィルタリング技術の向上が必要である。

5 活用事例

河川におけるCIMの活用事例を挙げる。

(1)排水樋門の樋門設計

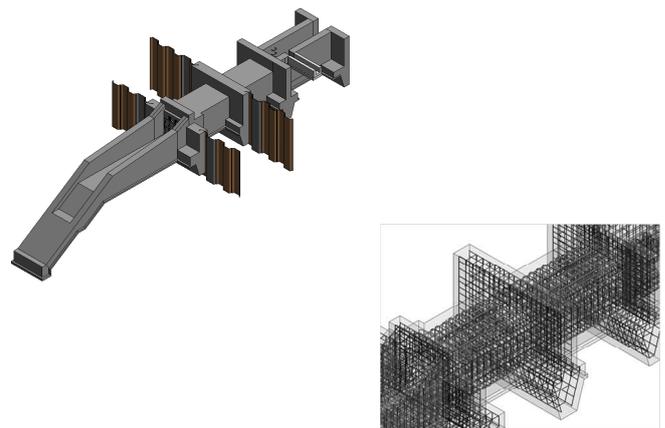


図9 CIMモデルによる樋門の設計

樋門の詳細設計の例では、CIMモデルを活用することにより、数量の算出や効率的な照査が可能となった。

契約図書化に向けたCIMモデルの構築、CIMモデルによる数量の算出

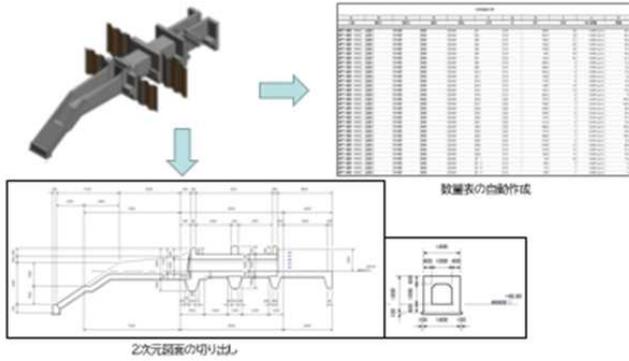


図 10 2次元図面切り出しと数量の自動計算

図 10 のように CIM モデルから、数量表の自動作成や 2次元図面の切り出しが可能であり、作業の効率化が可能とする。

(2) ダムの基礎処理工

ダムの基礎処理工（遮水性の改良）において、施工状況の見える化を実施。

ボーリングおよびグラウチングの結果を日々送付される日報から情報（ルジオン値、セメント注入量等）を読み取り、Excelを使用してCADのコマンドを自動生成、自動でモデル化。

CIM上で調査設計時点の想定と、施工時に得られた情報（掘削面スケッチ、グラウチング）とを組み合わせ、考察する事で水理地質構造のより正確な理解・評価に資する事ができ、施工の信頼性向上に寄与できる。

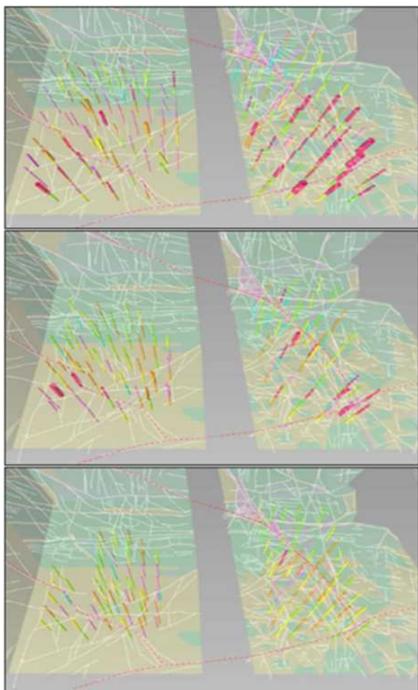


図 11 ダム施工の見える化

6 最後に

CIMモデルの作成は受発注者、関係機関、地元住民などの関係機関協議において、整備イメージを共有化することができ、非常に有効な手段でと言える。

法面勾配の違い等による景観（例：2割、3割）や樋門のデザイン等の比較検討が容易に出来るため、計画・予備設計段階では有効である。

施工時の支障物件（建物や電柱等）との離隔も定量的に評価できるため、安全な施工計画の立案の一助となる。

堤防の概略設計でイメージの共有や、比較検討、評価や数量計算において非常に有効であることが確認できたが、フィルタリング技術の向上やPC環境の整備といった課題がある。

今後様々な利点を持ったCIMを活用していく上で、CIMの使用可能な環境を整えていくために、CIMに対応した環境を普及させていくべきである。

謝辞

本論文作成にあたり多大なる御協力を頂きました皆様に感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省,ICTの全面的な活用について
- 2) 国土交通省,CIM 導入ガイドライン（案）第 1 編 共通編（平成 29 年 3 月）

平城宮跡歴史公園第一次大極殿院南門復原整備工事におけるVR技術の活用について

泉屋 勇斗¹

¹京都営繕事務所 保全指導・品質確保課

(〒606-8395京都市左京区丸太町川端東入ル東丸太町3 4-1 2 京都第2 地方合同庁舎 5 階)

第一次大極殿院南門復原整備工事（以下「本工事」という）は、奈良時代の前半に建設された建築物を伝統的な木構造を用いて、形態・材料・工法などを厳正に復原する工事である。よって、現代建築における経験知が通用せず、図面だけでは建物の完成イメージを掴みにくいことから、仮設計画の検討に要する時間と労力の軽減が本工事の課題であった。

本論文では、本工事を対象に、建設現場でのi-Constructionの推進としてVR技術を用いて、工事関係者間の調整の円滑化や、品質・生産性の向上に取り組んだ事例を紹介すると共に、VR技術の今後の活用展開についても考察する。

キーワード i-Construction , VR技術

1. 本工事の概要

「古都奈良の文化財」として奈良の国宝建造物と共に特別史跡として世界遺産に登録されている平城宮跡にて、北方に位置し、古代の宮都の中心施設として、国家の重要な儀式が行われていた場所にある第一次大極殿院の正面入口に位置している第一次大極殿院南門は、文化庁による整備構想（「特別史跡平城宮跡保存整備基本構想推進計画」）に基づき国土交通省が復原整備を進めている建築物の一つである。京都営繕事務所は本工事の工事監督を担当している。

(1) 工事概要

工事場所：奈良県奈良市佐紀町地先

敷地面積：175,444m²

(図-1-1)

a) 南門

建築概要：木造 平屋建 新築1棟

延べ面積：195.68m²

完成予定：令和4年3月

(図-1-2)

b) 素屋根（施工中建築物を風雨から守る仮設構造物）

建築概要：鉄骨造 新設

延べ面積：2,143.96m²

(図-1-3)

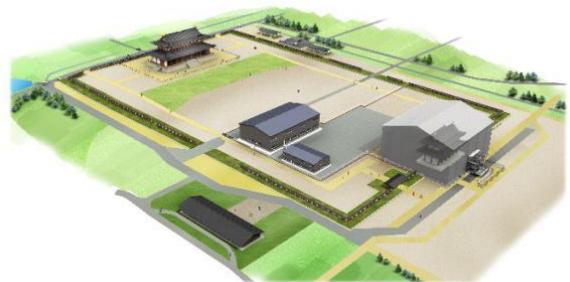


図-1-1 第一次大極殿院（全景）



図-1-2 第一次大極殿院南門（完成イメージ）



図-1-3 第一次大極殿院南門（素屋根）

2. 課題

各施工段階でどのような仮設足場が追加に必要なのかについて、現代建築の現場では、工事受注者である元請、大工、鳶工など、それぞれの経験知にてある程度決めることができる。

しかし、本工事は、奈良時代の伝統的な形態・材料・工法などを厳正に復原する工事であるため、これまでの経験知が通用せず、図面だけでは建物の完成イメージが掴みにくいことから、各施工段階における追加の仮設足場の施工イメージの共有が難しい。

そのため、その都度、現場にて思わぬ仮設足場等の検討が必要になり、検討時間や施工手間などの手戻りが発生してしまい、現場の生産性が大きく低下していた。

3. 課題解決に向けた検討

建設業における働き方改革への取り組みとして、ICT、情報技術を活用したi-Constructionを推進している。

そこで、図面だけでは掴みにくかった建物の完成イメージを工事関係者間で共有するため、VR技術（Virtual Reality=仮想現実）を活用することとした。

本工事では、より安全性や確実性のある仮設足場の設置が求められる。そのため工事受注者である元請は、仮設足場の机上検討段階にて、現場の大工や鳶工などの意見を事前に取り入れることが重要である。

VR技術を活用したのは、元請、大工、鳶工などの工事関係者が、南門の複雑な完成イメージを3次元で共有して可視化することで、事前に現場の施工シミュレーションが検討できるため、意見を効率的に取り入れることが可能となり、検討時間や施工手間などの手戻りの発生がなくなると判断したためである。

4. 施工におけるVR技術の活用方法

まず、実際に大工や鳶工などに実際に HMD（ヘッドマウントディスプレイ）を装着してもらい、BIM（Building Information Modeling=コンピュータ上に作成した3次元の建築情報）で作成した建築物を VR 内で可視化することにより、工事関係者間で完成イメージを共有する。

(図-4-1) (図-4-2) (図-4-3)

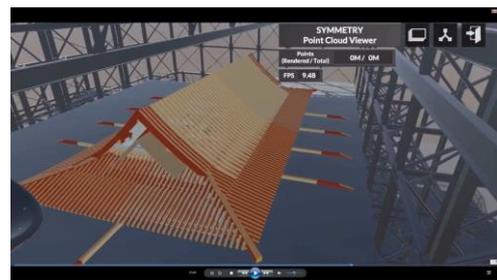


図-4-1 VR内素屋根、南門完成イメージ（二重屋根部）
（追加仮設足場設置前）



図-4-2 VR内素屋根、南門完成イメージ（初重屋根部）
（追加仮設足場設置前）



図-4-3 VR内素屋根、南門完成イメージ（初重軸部）
（追加仮設足場設置前）

次に、素屋根、南門内にて新たに追加が必要となる仮設足場の設置場所の検討のため、大工や鳶工などにVR検証をしてもらう。

(図-4-4) (図-4-5)



図-4-4 大工による素屋根内仮設足場VR検証



図-4-5 鳶工による素屋根内仮設足場VR検証

大工や鳶工などにVR内の仮想現実を体験してもらうことにより、VR内にて「もっとここに仮設足場（作業台）があったほうが良い」などの具体要望を聞き出す。これを繰り返す。

(図-4-6)

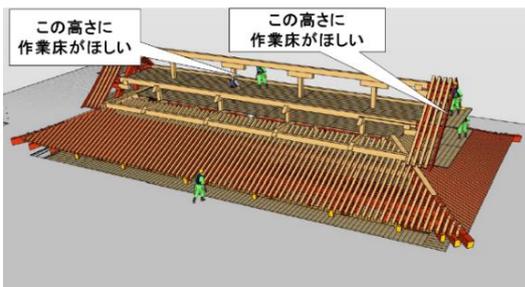


図-4-6 VR内素屋根内仮設足場（作業床）提案イメージ

5. 実証結果

VR技術の活用を通じ、早期に机上検討段階で大工や鳶工などの意見を取り入れ、事前にシミュレーションを繰り返すことにより、元請、大工、鳶工などの工事関係者間で(図-4-1)～(図-4-3)のような図面だけでは掴みにくかった完成イメージの共有が事前に図られたことで、(図-5-1)のような、より安全性、確実性のある追加の

仮設足場の設置をVR内にてシミュレーションすることができた。

(図-5-1)

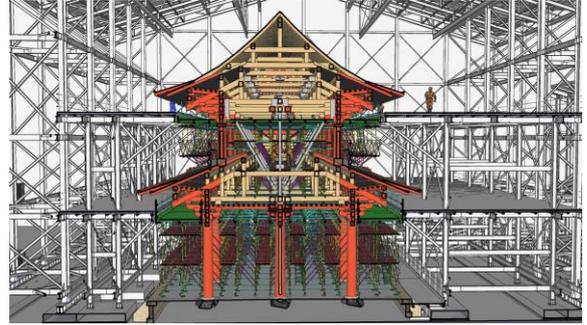


図-5-1 VR内南門断面イメージ図（全景）
(追加仮設足場設置後)

VR技術による事前検証について、大工や鳶工などにヒアリング調査を実施したところ、総じて評価が高く、「建築物の理解が深まった」、「職人でも気がつかない思わぬところに足場が必要であることが工事関係者間で事前共有できてとてもよかった」などの意見が得られた。

工事関係者にて事前にイメージを共有することにより、VR技術導入後は本工事現場において突発的な思わぬ仮設足場等の検討はなくなり、VR技術導入前には生じていた検討時間や施工手間などの手戻りをなくすことができた。結果として、より確実性のある仮設計画を作成することができ、また、副次的な効果として、思わぬ仮設足場事故を予防することができることも考え得る。

上記により、本工事にてVR技術を活用することにより、関係者間調整の円滑化につながり、後々の施工管理などにて、品質・生産性の向上を図ることができたといえる。

6. 現場公開イベントでのVR技術の活用事例

近畿地方整備局は、工事受注者の協力も得て、施工中の平城宮跡歴史公園 第一次大極殿院南門を対象に、期間限定で工事現場を間近で見学できる特別公開を令和元年度に2回開催した。(第1回特別公開；2019年5月25日(土)・26日(日)、第2回特別公開；2019年10月26日(土)・27日(日))

特別公開の企画として、素屋根内の2階復原整備情報コーナーにて、VR体験コーナーを設けて、図-6-1のように来場者に南門復原完成後の空間を体験してもらった。内容は、実際にHMDを装着してもらうことで、2分間のガイド音声付きで完成後の空間を体験してもらうものである。

来場者は、通常は見学することができない小屋裏の状況（図-6-3）や、屋根の最も高い部分である大棟（おおむね）の両端に取り付けられた古代装飾である鴟尾（しび）の大きさ（図-6-4）などの完成イメージをHMD内のあらゆる角度から体験できる。

（図-6-1）（図-6-2）（図-6-3）（図-6-4）



図-6-1 特別公開時のVR体験



図-6-2 VR内の南門状況（全景）

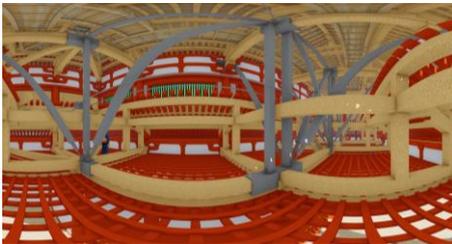


図-6-3 VR内の小屋裏状況（二重目）

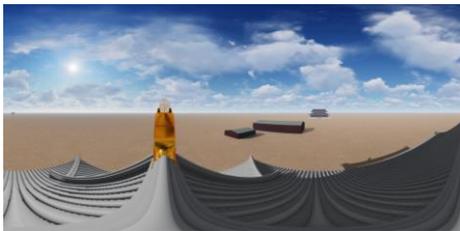


図-6-4 VR内の屋根上部状況

第2回南門特別公開イベントの際に、国営飛鳥公園事務所が来場者を対象に実施したアンケート調査結果を（表-6-1）（図-6-5）にて示す。調査項目の設問にて、「本日の特別公開は満足しましたか」という項目があり、さらに「そのような評価をした主なポイントは何ですか（2つを選択）」という問いを設けた。図・表より、アンケート回答者の中でVR体験は一定の評価ポイントを得ていることが示され、VR体験を評価した全体の中で

も、特に20歳以下の男子や50歳代の男女や70歳代80歳代以上の男女など高齢の方に評価を得ていることが伺える。

上記の評価を頂いた具体的な理由としては「説明がわかりやすかった」などの意見が多数あがった。このようなアトラクション的な使い方は、完成イメージが掴みにくい特殊な建築物の工事現場であるほど、ユーザーに対して費用対効果が高く、プレゼンテーションを伴う案件では、評価者（複数人数）へのアピール度が非常に高いことが伺える。

以上より（図-6-5）の結果に基づく考察ではあるが、VR技術を活用したVR体験は、パネル展示や専門家の説明より評価ポイントが高いことから、建設業や歴史公園の魅力発信の効率的なコミュニケーションツールとして有効であると評価できる。このように南門特別公開イベントで活用できたように、今後の営繕事業にも展開していきたいと考える。

（表-6-1）（図-6-5）

表-6-1 アンケート調査結果評価表（合計200%）

	南門復原整備工事の現場	パネル展示	木材・材料展示	宮大工実演	VR体験	専門家の説明	その他	無記名
全体(n=1647)	60.9	15.5	32.7	50.7	23.4	14.6	4.3	5.6
性別								
男性(n=875)	65.3	16.2	32.2	47.0	23.9	14.1	2.9	4.7
女性(n=702)	56.8	15.2	33.2	57.3	23.1	15.5	5.0	5.3
性×年代別								
男性・20歳未満(n=56)	42.9	12.5	32.1	39.3	26.8	10.7	1.8	8.9
男性・20歳代(n=45)	66.7	13.3	48.9	48.9	8.9	8.9	2.2	2.2
男性・30歳代(n=66)	77.3	16.7	34.8	36.4	21.2	15.2	4.5	4.5
男性・40歳代(n=147)	64.6	15.6	31.3	53.1	17.7	13.6	1.4	4.1
男性・50歳代(n=198)	67.7	16.2	30.3	51.0	28.3	15.7	2.5	4.5
男性・60歳代(n=217)	65.0	18.0	31.3	49.3	23.5	17.5	3.7	4.1
男性・70歳代(n=124)	65.3	17.7	33.1	39.5	30.6	8.9	4.0	4.0
男性・80歳以上(n=17)	70.6	11.8	17.6	35.3	29.4	17.6	0.0	11.8
女性・20歳未満(n=49)	32.7	4.1	32.7	53.1	20.4	8.2	8.2	8.2
女性・20歳代(n=49)	59.2	8.2	34.7	71.4	10.2	12.2	10.2	4.1
女性・30歳代(n=80)	62.5	20.0	40.0	58.8	16.3	17.5	7.5	8.8
女性・40歳代(n=142)	54.2	14.8	35.2	63.4	21.8	16.2	1.4	7.0
女性・50歳代(n=161)	60.9	14.3	31.1	52.2	31.1	18.0	3.7	5.0
女性・60歳代(n=130)	63.1	13.1	26.2	56.9	23.1	13.2	5.4	3.1
女性・70歳代(n=82)	51.2	28.1	37.8	50.0	23.2	17.1	4.9	2.4
女性・80歳以上(n=7)	57.1	14.3	14.3	57.1	57.1	28.6	14.3	0.0

*注1) 2つを選択する設問のため合計200%としている。

*注2) n=回答者数とし、性別、年代の無回答も全体に含める。

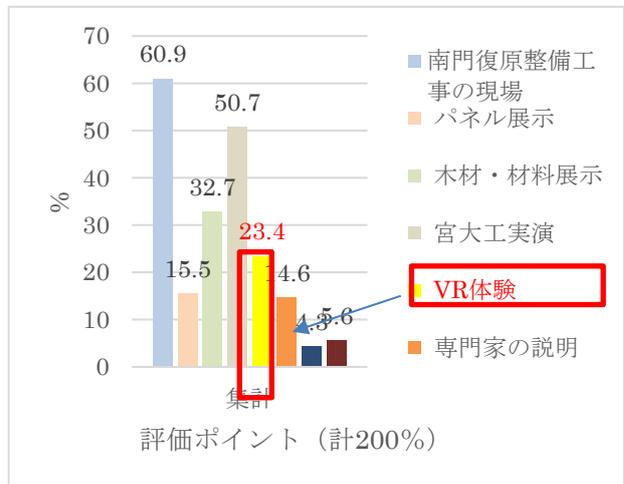


図-6-5 CS結果グラフ

7. まとめ

実証結果より、本工事現場で VR 技術を活用することで、関係者間の調整が円滑になり、検討時間が省かれることで、品質・生産性の向上にも繋がることが確認できた。このことにより、建設業に VR 技術を用いることが、建設業の課題である働き方改革に有効な手段であることが考えられる。

また、活用事例より、工事関係者以外の第三者を対象に実施した、VR 技術を用いて完成形を体験してもらう企画が好評を得たことから、事業説明、広報にも有効であることがいえ、建築物に関する専門的知識の少ない施設管理者や、しいては地域住民や国民への工事説明のコミュニケーションツールとしても十分に応用できることも考えられる。

最後に、当研究に御協力いただいた関係者各位に御礼を申し上げます。本研究が今後の VR 技術の活用の参考になれば幸いです。

橋梁詳細設計業務等における CIMモデルの活用に関する考察

伊原 岳宏¹

¹近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 調査課 (〒620-0875 福知山市字堀小字今岡2459-14)

CIM (Construction Information Modeling/Management) は、計画・調査・設計段階から構造物の属性情報を付与した3次元モデルを導入することにより、一連の建設生産システムの効率化・高度化を図ることを目的としている。紀南河川国道事務所では、一般国道42号すさみ串本道路の橋梁詳細設計において、数量・工事費・工期の算出、施工ステップの可視化や鉄筋干涉の照査等にCIMモデルを活用している。しかし、国土交通省 CIM 導入推進委員会 が公表している CIM 導入ガイドライン (案) における詳細な仕様の規定は検討段階にあり、現時点では、発注者や業務・工事受注者がCIMモデルを十分に活用できない場合がある。本稿では、橋梁詳細設計業務におけるCIMモデルの活用状況を整理し、日常業務や施工中・供用後の安全管理でより一層活用されるために必要な制度や活用方法を考察する。

キーワード CIM, i-Construction, 安全管理, GIS

1. はじめに

国土交通省では、建設生産システムの効率化・高度化を目的として、CIM (Construction Information Modeling/Management) の導入を推進している。令和2年4月現在、紀南河川国道事務所では、一般国道42号すさみ串本道路の建設が進められており、設計段階において CIM 導入ガイドライン (案) (以下、「ガイドライン」とする。) に基づき21橋にCIMが導入されている (図1)。ガイドラインでは、CIMモデルの活用例は紹介しているものの、事務所作業における動作環境や使用方法まで言及していない。また、設計業務の次の段階である工事発注において、ソフトウェアの互換性の問題等により、発注者および工事受注者がCIMモデルを十分に活用できない場合がある。そこで本稿では、橋梁詳細設計業務におけるCIMモデルの活用状況を整理し、日常業務や施工中・供用後の安全管理でより一層活用されるために必要な制度や活用方法を考察する。

一般国道42号すさみ串本道路 (図2) は、近畿自動車道紀勢線の一部として、和歌山県西牟婁郡すさみ町と東牟婁郡串本町との間を結ぶ延長19.2kmの自動車専用道路であり、2014年度に事業化された。現在紀伊半島南部にある幹線道路は現道の国道42号のみであり、線形が厳しいことに加えて台風や豪雨などの異常気象発生時には度々通行止めとなっている。そのため、すさみ串本道路は、本地域における災害時の信頼性・安全性の確保、救急医療活動の支援、観光活性化等を目的に整備が行われ

ている。また、近い将来高確率で発生が懸念されている南海トラフの巨大地震に伴う大津波により、現道の大部



図1 すさみ串本道路における橋梁一覧
(橋梁名は令和2年6月時点の仮称である。)



図2 すさみ串本道路の概要

分は浸水区間内に入ると想定されており、浸水区間を回避する高さに計画されているすさみ申本道路は、「命の道」として早期供用が期待されている。すさみ申本道路は、供用済みとなっている近畿自動車道紀勢線の区間に加えて事業中の申本太地道路（2018年度事業化）・新宮道路（2019年度事業化）・新宮紀宝道路（2015年度事業化）と合わせて紀伊半島を1周する高規格幹線道路となる予定である。このように、急峻な地形に計画され、供用が急がれるすさみ申本道路事業は、CIM導入による施工の効率化等のメリットは大きいと考えられる。

2. CIMの利活用の制度と成果品の現状

平成29年3月に国土交通省 CIM 導入推進委員会が「CIM 導入ガイドライン（案）」を策定しており、CIMモデルの活用方針等が示されている。CIMの活用の方針として、設計照査の効率化や安全管理等がテーマとして挙げられている。設計照査の効率化に関して、橋脚基礎等の配筋が密となる箇所における鉄筋の干渉照査にCIMモデルが活用される事例があり、すさみ申本道路の橋梁においてもCIMによる鉄筋の干渉照査が実施されている。安全管理に関して、工事現場では様々な建設機械や作業員の動線が交錯しており、事故が生じやすく、事故が発生した場合の死亡率も高い。事故予防の先進的な取り組みとして、屋内でも危険予知活動を可能とするシステム等が検討されている。

しかし、ガイドラインは、CIMモデルの活用例やデータベースの構築例は紹介しているものの、事務所作業における動作環境や使用方法まで言及していない。そのため、すさみ申本道路の橋梁CIMの業務成果毎に詳細度や使用ソフトウェアが異なり、路線統一的なCIMモデルの構築が困難である（表1）。また、近畿地方整備局で導入しているソフトウェアと異なるもので作成されたCIMモデルは直接読み込むことはできず、共通仕様のIFCファイルに変換して取り込むか3DPDFに変換して閲覧する必要がある。このIFCファイルや3DPDFでは、テクスチャ抜け等が生じる場合があり、互換性に課題がある。

この現状を踏まえ、特記仕様書等で主桁等を再現する上部工は詳細度300とする等、詳細度を成果品の目的・構造別に指定し、なおかつCADソフトに左右されない3DPDFの納品を指定することで実業務において活用し易いデータを整備する必要があると考えられる（表2）。

表1 すさみ申本道路のCIM成果品の使用ソフトウェア

Autodesk		川田テクノシステム(株)	Allplan
江住川橋	有田川橋	小河谷川橋	安指川橋
星野西池川橋	大山口川橋		江田川橋
小河瀬谷川橋	東雨川第一橋		貝岡川橋
熊谷川第一橋	東雨川第二橋		二色川橋
熊谷川第二橋	釜郷原川橋		
和深川橋	高富川橋		
田子川橋	關野川橋		
田並川橋	サンゴ台高架橋		
16橋		1橋	4橋

※名称は全て仮称

表2 CIMモデルの詳細度の定義²⁾

詳細度	共通定義	【参考】工種別の定義例	
		構造物（山岳トンネル）のモデル化	サンプル
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	対象構造物の位置を示すモデル（トンネル）トンネルの配置が分かる程度の矩形形状もしくは線状のモデル	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現、または各構造物一様に示される標準横断面を対象範囲でスワイプさせて作成する程度の表現。	構造形式が確認できる程度の形状を有したモデル（トンネル）計画道路の中心線形とトンネル標準横断面でモデル化。坑口はモデル化せず位置を示す。	
300	附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形状を正確に表現したモデル。	主構造の形状が正確なモデル（トンネル）避難通路などの拡張部の形状をモデル化する。検討結果を基に適用支保パターンを範囲を記号等で、補助工法は対象工法をパターン化し、記号等で必要範囲をモデル化する。坑口部は外形寸法を正確にモデル化する。舗装構成や排水工等の内空設備をモデル化する。橋抜き位置は形状をパターン化し、記号等で設置範囲を示す。	
400	詳細度 300 に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造および配筋も含めて、正確にモデル化する。	詳細度 300 に加えてロックボルトや配筋を含む全てをモデル化（トンネル）トンネル本体や坑口部、箱抜き部の配筋、内装版、支保パターン、補助工法の形状の正確なモデル化。	
500	対象の現実の形状を正確に表現したモデル	-	-

3. 橋梁詳細設計業務におけるCIMの活用状況

新たなCIMの活用方法を検討する前段として、すさみ申本道路事業における橋梁詳細設計業務での活用状況を整理した結果のうち、多くの橋梁で見られた鉄筋干渉照査および施工ステップの可視化への活用方法を述べる。

1) 鉄筋干渉照査

橋台や橋脚は鉄筋が複雑に交錯しており、要所毎に配筋を記した二次元図面では、鉄筋同士の干渉の発見が困難な場合がある。干渉が生じた場合、工事発注後に手戻りが生じるため、未然に防ぐことが重要である。課題としては、CIMを用いた干渉照査には、詳細度400以上のCIMモデルが必要であり、CIMモデルの作成に多大な労力を要することが挙げられる。ここで、桁端部におけるPCケーブルと支保アンカー等の配筋干渉確認のイメージを図3、橋脚基部の柱主鉄筋と大口径深礎杭の配筋干渉確認のイメージを図4に示す。

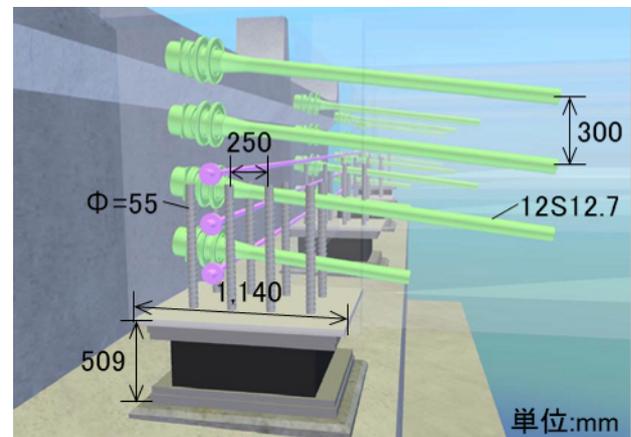


図3 PCケーブルと支保アンカーの配筋干渉確認例（熊谷川第一橋（仮称））

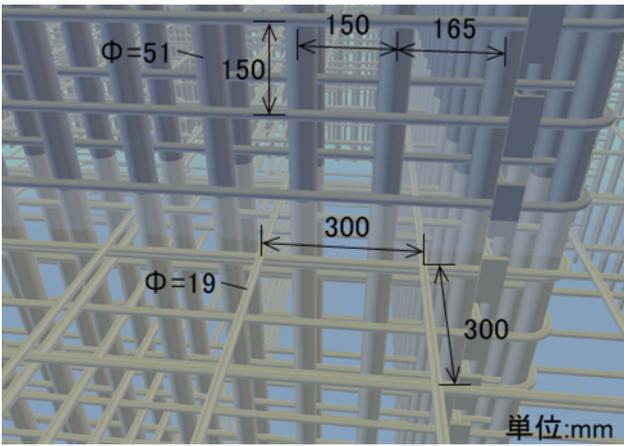


図4 柱主鉄筋と深礎杭の配筋干渉確認例
(熊谷川第一橋(仮称))

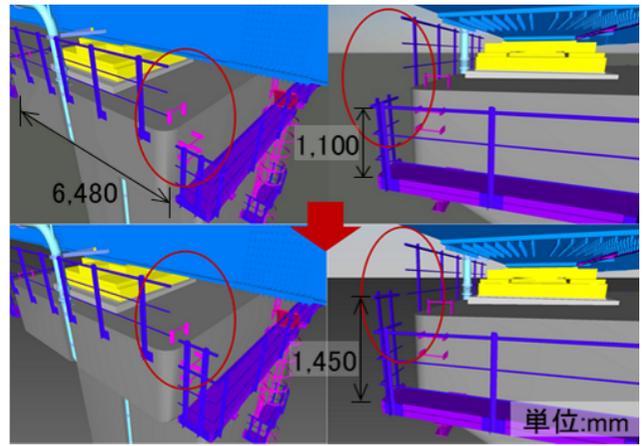


図6 検査用通路の改良例(田並川橋(仮称))

2) 施工ステップの可視化

橋梁の詳細設計では、構造物そのものの設計のみならず、施工に要する日数、難易度や費用等を総合的に考慮し、施工計画を立案する必要がある。その際、施工手順が複数になるにつれ、二次元図面では表現が困難となり、施工計画の妥当性の評価に苦慮することとなる。ここで、CIMモデルを活用する顕著なメリットは2つあると考えられる。1つは、三次元空間上で施工計画を立案することにより、構造物や建機との干渉を容易に発見できる点である。これにより、工事着手後の計画変更や事故を未然に防ぐための一助となると考えられる。もう1つは、CIMモデルに時間要素を付与し、アニメーションによる施工フローの把握が可能となる点である。これにより、効率的な建設機械の動線や施工手順を設定できると考えられる(図5)。

3) その他の活用方法

その他の活用方法として、安全性の検証にCIMモデルを活用した例を挙げる。田並川橋では、下部工検査路が橋脚側面及び上面に計画されており、双方を行き来可能な梯子も設置される予定である(図6)。ここで、側面図の手摺りの高さに着目すると、梯子の昇降時に掴むには不十分と判明した。併せてCIMモデルでの再現すにより、様々な角度から手摺りの高さの妥当性を検証することが可能であり、点検時の動線や視界をシミュレーションすることで、安全管理にも活用できると考えられる。

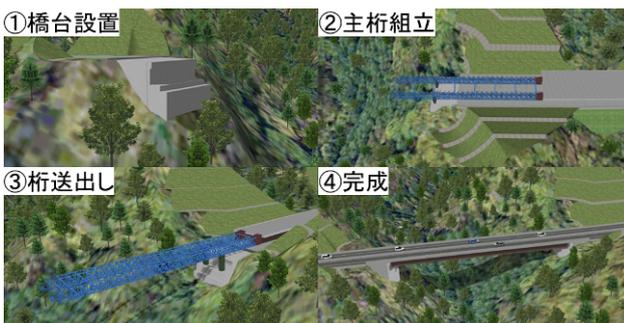


図5 貝岡川橋(仮称)の施工ステップ図

上記3例の特徴を踏まえると、CIMモデルには作成手間は掛かるものの、工費縮減や工期短縮に効果的である。一方で、単純な三次元モデルでも同様の検証は可能であり、CIMモデルの特徴である付与された属性データに関して更なる活用の余地があると考えられる。

4. 橋梁CIMの新たな活用方法と制度の検討

2章で述べたとおり、すさみ串本道路は防災面での整備効果が期待されていることから、設計段階において二色川橋(仮称)および江田川橋(仮称)では津波避難路としての活用を検討した。特に二色川橋では、橋梁の構造図と防災マップの組み合わせにより避難経路を検討した(図7)。ここでは、付近に津波浸水高より高所に避難所があるため避難スペースの詳細な検討は実施しなかったが、バリアフリーの検討等に、CIMモデルの活用が期待される。3.3)の例では、検査用通路の梯子から橋台上面の検査用通路に登る箇所において、安全面から手すりを追加した。この事例を応用して、避難時の想定ルートをVR等の3次元で検証することにより、図8のような二次元図面のみでは把握しづらい改善が必要な箇所を発見できると考えられる。特に、避難経路の起伏を加味した危険性の評価や高齢者の避難の際に支障となる箇所の把握が容易になることが考えられる。

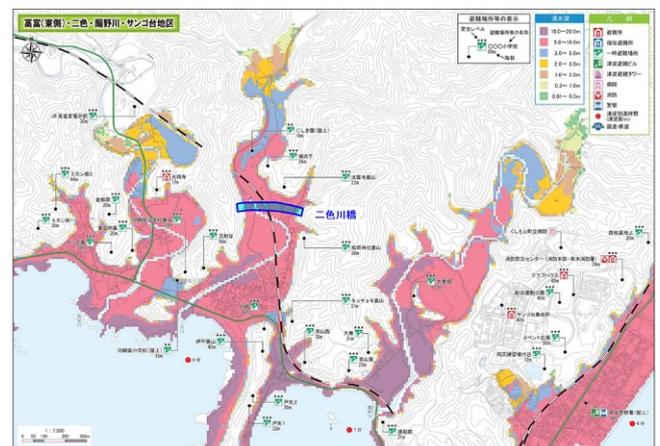


図7 二色川橋(仮称)の津波時の浸水想定³⁾

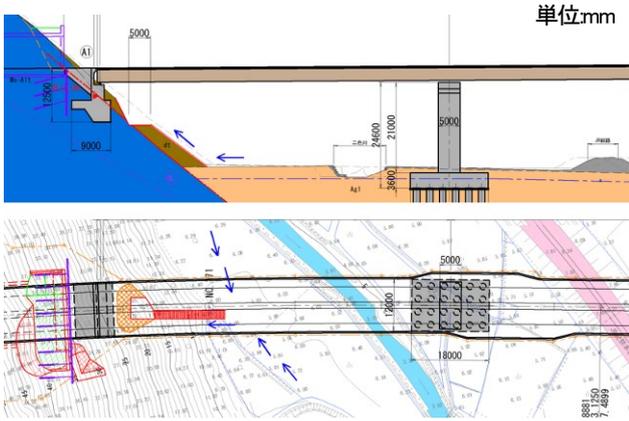


図8 二色川橋(仮称)の津波時の避難経路の検証

属性情報を活用する方法としては、部材情報や品質管理基準情報を用いて、打合せ時の検討内容をリアルタイムに反映するシステムの導入が挙げられる。従来の打合せでは、設計コンサルタントが提示した案に対して修正を指示し、その修正案を次回の打合せにて協議する場合が多く、意思決定に約1ヶ月を要する場合もあった。そこで、地形データに詳細度200程度のCIMモデルを構築し、打合せ時にリアルタイムで編集可能な環境を整備することにより、構造物同士の干渉照査、切盛土量の算出や概算工事費の算出が可能となり、意思決定に要する時間を短縮できる可能性があると考えられる(図9)。

さらに、地質モデルと組み合わせることにより、地質条件も考慮した概算工費を算出できることが期待される。

今後の展望として、さらなる活用方法を検討するために、著者自身がCIMデータを活用できる環境を整備し、打合せ等に活用することを予定している。発注者と受注者の双方がCIMの活用環境を整備することにより、従来以上に業務を効率化することが期待される。

一方、CIMモデルのみの整備で業務の効率化が図られるわけではない。橋梁設計には、地質条件、気候、周辺環境への影響、用地範囲やスケジュール等を総合的に判断して設計する必要がある。したがって、これらを統合的に扱えるプラットフォームの整備が必要であるといえる。事務所・出張所等においては、ノートパソコンや

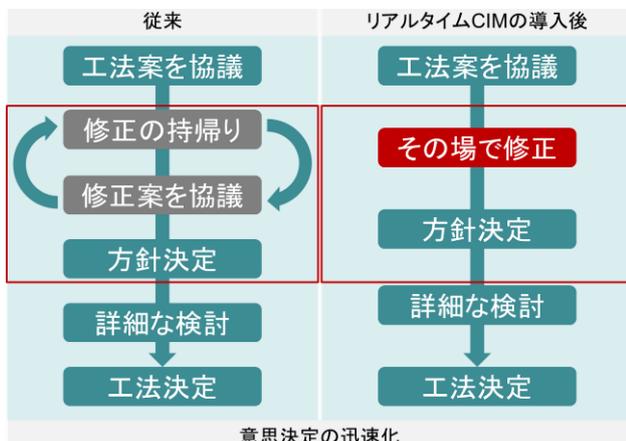


図9 リアルタイムCIM導入により想定される効果

表3 3DCADソフトウェアの動作要件と官用PCの比較

	V-nasClair	官用PC(ノート)
CPU	Intel Core i7相当	Intel Core i5 8265U
記憶装置	SSD 10GB以上	SSD 512GB
モニタ	1280×1024以上	1366×768
メモリ	16GB以上(64bitOS)	8GB
OS	Windows7以降	Windows10 64bit



図10 GISプラットフォームによる管理イメージ

タブレット端末を用いてこれら情報を一元的に管理し、打合せ等に臨める環境が理想である。しかし、3DCADソフトウェア(V-NasClair, Navisworks等)は動作要件が高く、打合せで活用できるような環境構築に適していない(表3)。そこで比較的動作要件の低いGISソフト(Q-GIS等)による管理が適していると考えられる。また、GISソフトは多数のレイヤーを構築することが容易であり、用地買収状況や地質状況を表したレイヤーを速やかに切り替えて検討できる利点がある(図10)。

5. まとめ

4章までの検討を総括すると、CIMを日常業務や施工中・供用後の安全管理で一層活用するためには、CIMを構築するプラットフォームの整備・統一化が必要であると考えられる。したがって、プラットフォームの整備に必要な仕様や要件を確定させるため、CIMモデルの活用事例を収集・分析することが必要であると考えられる。

※本稿は著者が紀南河川国道事務所工務第三課所属時の業務内容である。

謝辞：本稿の執筆にすさみ申本道路事業の橋梁詳細設計業務に携わった設計コンサルタントの方々には多大なるご協力をいただいた。深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省, CIM導入ガイドライン(平成29年3月)
- 2) 国土交通省, CIM事業における成果品作成の手引き(平成29年3月)
- 3) 串本町, 津波ハザードマップ【高富(東側)・二色・鬮野川・サンゴ台地区】、<https://www.town.kushimoto.wakayama.jp/bousai/tsunami/files/tsunami-1718_201907.pdf>(2020.6.3閲覧)

重要度「AA種」のため池堤体における耐震性能照査手順

高原 祥

近畿農政局和歌山平野農地防災事業所工事第一課 (〒640-0413和歌山県紀の川市貴志川町神戸327番1)

和歌山平野農地防災事業は、地区内の農業用排水路等の整備により排水機能の回復を図る事業であるが、水路改修等が困難な箇所においては、既存ため池に洪水調節機能を付与することによるピーク流出量のカットが計画されている。改修対象のため池は、土地改良事業設計指針「ため池整備」に基づき堤体の耐震性能照査を行う必要があるが、現行指針には詳細な手順や解析手法は明記されていない。そのため、本事業の改修対象である大溜池の設計に際し、ため池堤体の耐震性能照査手順を検討し、等価線形化法による地震応答解析及び液状化判定を行った。その結果、大溜池はL2地震動に対する耐震性能を有しないことが明らかとなった。

キーワード ため池堤体、耐震性能照査、L2地震動、液状化、等価線形化法

1. はじめに

和歌山平野地区は、降雨形態の変化や都市化の進展による流出形態の変化に起因して、農業用排水施設の排水機能が低下しており、しばしば農地、農業用施設等の湛水被害が生じている。和歌山平野農地防災事業は、地区内の排水機及び農業用排水路等の整備により排水機能を回復し、農業生産の維持及び農業経営の安定を図るものであるが、周辺状況等から水路改修等が困難な箇所においては、水路機能を補完するものとして、既存ため池に洪水調節機能を付与することによるピーク流出量のカットが計画されている。改修対象のため池については、土地改良事業設計指針「ため池整備」¹⁾(以下、「指針」という。)に基づき堤体の耐震性能照査を実施する必要があるが、現行指針においては、ため池堤体の耐震性能照査に関する詳細な手順や解析手法は明記されていない。

以上のことから、本事業で改修を計画している大溜池(和歌山県紀の川市馬宿)の設計に際し、ため池堤体の耐震性能照査手順を検討した。本稿では、耐震性能照査手順の検討過程並びに検討した手順に基づく大溜池の耐震性能照査結果について報告する。

2. 大溜池の概要

大溜池の位置図及び諸元を図-1及び表-1に示す。本池は和歌山県紀の川市馬宿地区内に位置し、下流に集落、保育園、JR和歌山線及び国道24号が存在すること、並びに

氾濫解析から算出される周辺施設への影響の大きさ(被害総額約4億円)を考慮し、重要度「AA種」と判断した。



図-1 大溜池位置図

表-1 大溜池諸元

堤高、堤頂長、天端幅	10.8m、139.4m、4.2～5.2m
天端標高	EL 81.30m
満水位	FWL 79.68m
設計洪水水位	HWL 80.08m
総貯水容量	92,000m ³
設計洪水量	7.2m ³ /s
被害想定額	404,244千円 (住宅浸水27戸、公共施設1戸、線路浸水100m、道路浸水350m等)

3. ため池堤体の耐震性能照査手順の検討

(1) 現行指針における耐震性能照査手順

前述のとおり、大溜池は重要度「AA種」であるため、震度法によるレベル1地震動（以下、「L1地震動」という。）に対する耐震性能照査に加え、レベル2地震動（以下、「L2地震動」という。）に対する耐震性能照査及び液状化の検討を行う必要がある。現行指針においては、図-2、3、4に示すとおり、L1地震動に対する耐震

性能照査、L2地震動に対する液状化の検討、L2地震動に対する耐震性能照査を順に行うという大まかなフローは示されているものの、設計作業における詳細な手順については明記されていない。特に、L2地震動に対する耐震性能照査における具体的な動的解析手法や、液状化が発生すると判断された場合における堤体の耐震性能照査への反映方法は示されておらず、「個々のため池の諸条件を十分考慮した上で適切な方法により実施する」等の記述にとどまっている。

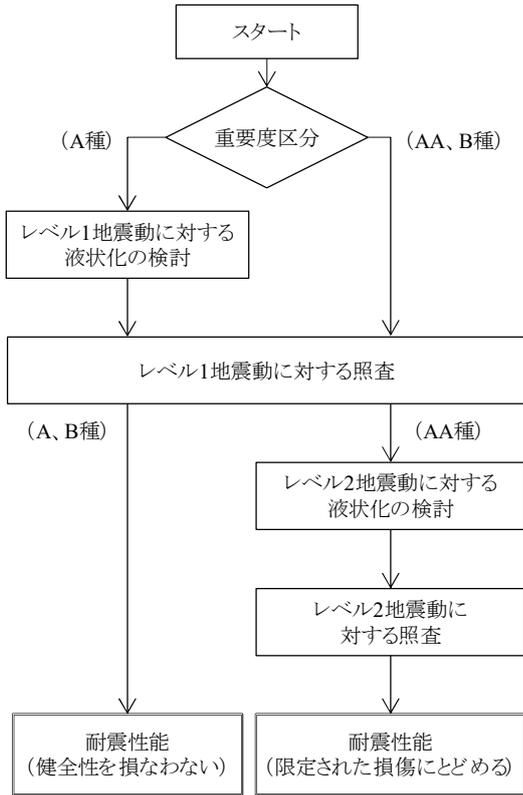


図-2 重要度区分に基づく堤体の耐震性能照査手順
(出展：土地改良事業設計指針「ため池整備」P8)

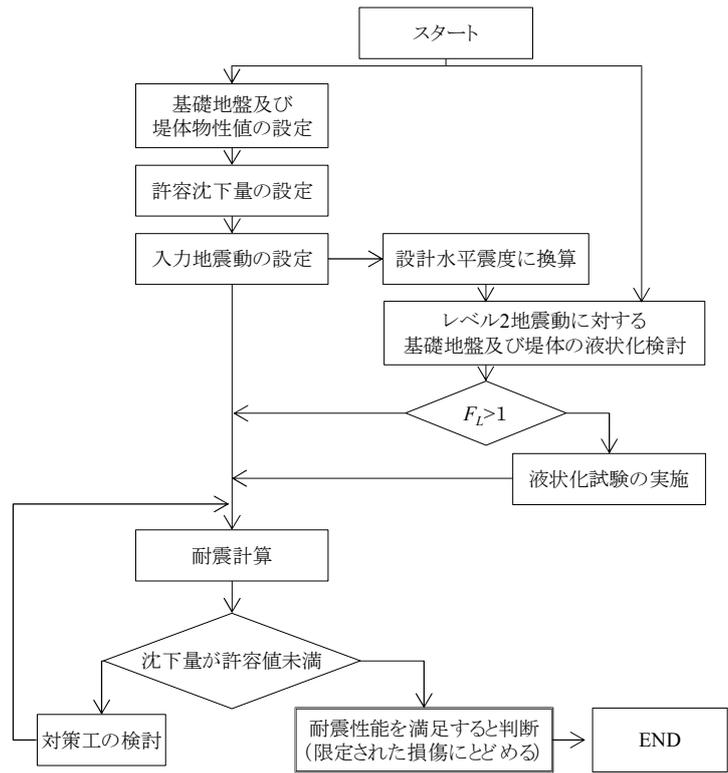


図-3 レベル2地震動に対する耐震性能照査手順
(出展：土地改良事業設計指針「ため池整備」P123)

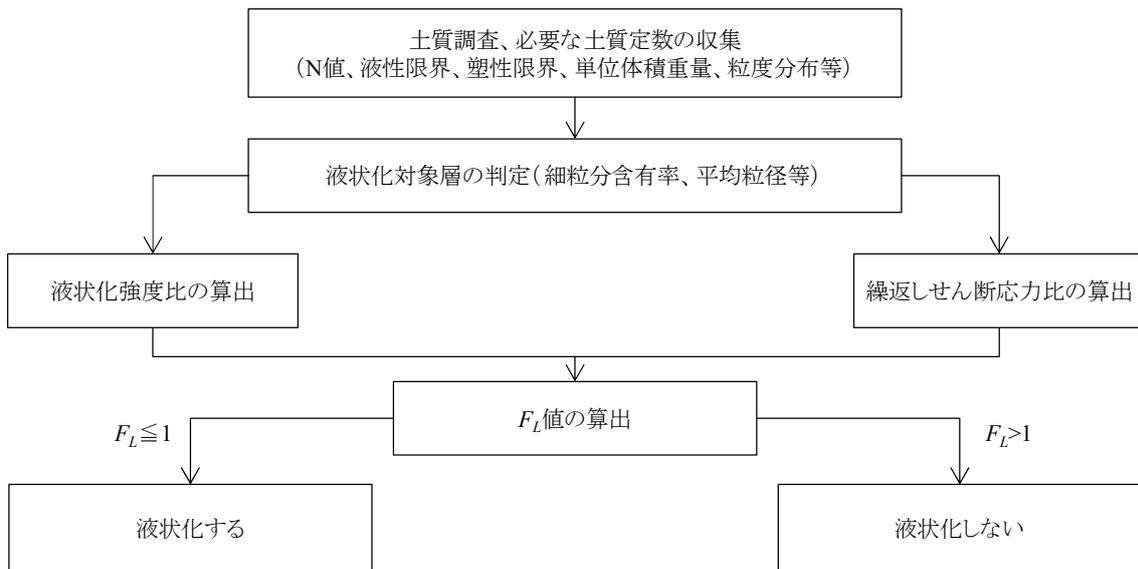


図-4 液状化判定の基本的なフロー
(出展：土地改良事業設計指針「ため池整備」P134)

(2) ため池堤体の耐震性能照査手順の検討

ため池堤体の耐震性能照査手順の検討結果を図-5に示す。現行指針に基づき、まずはL1地震動に対する耐震性能照査(図-5中①)を行い、L2地震動に対する耐震性能照査を実施する堤体断面を設定する。次に、液状化判定を行う必要がある土層を確認(図-5中②)し、該当する土層が存在する場合には、道路橋示方書・同解説²⁾(以下、「道路橋示方書」という。)に基づく K_h (L2設計水平震度)による液状化判定(F_L 法)(図-5中③)及び液状化試験結果による繰返し三軸強度比を用いた液状化判定(F_L 法)(図-5中④)を行う。次に、動的応答解析によりL2地震動における堤体内のせん断応力を算出(図-5中⑤)し、その結果を用いてより詳細な液状化判定(F_L 法及び P_L 法)(図-5中⑥)を実施する。解析手法

については、現行指針にフィルダムの耐震性能照査に関する検討状況を参考に示されていることから、フィルダムの設計における採用実績も多く、実用上妥当な挙動予測を得ることができると考えられる等価線形化法を採用した。動的解析結果を用いた液状化の詳細判定において、堤体の $F_L > 1$ かつ基盤の $F_L \leq 1$ (堤体は液状化せず基盤で液状化が発生)となる場合は、道路橋示方書における土質定数の低減係数を堤体基盤のせん断強度に適用する(図-5中⑦)。また、堤体の $F_L \leq 1$ (堤体が液状化)となる場合、動的有効応力解析等による沈下量の検討が考えられるが、現時点で同解析によるため池堤体の耐震性能照査として確立された手法はないことから、各事業主体にて実施の要否を判断することとした(図-5中⑧)。

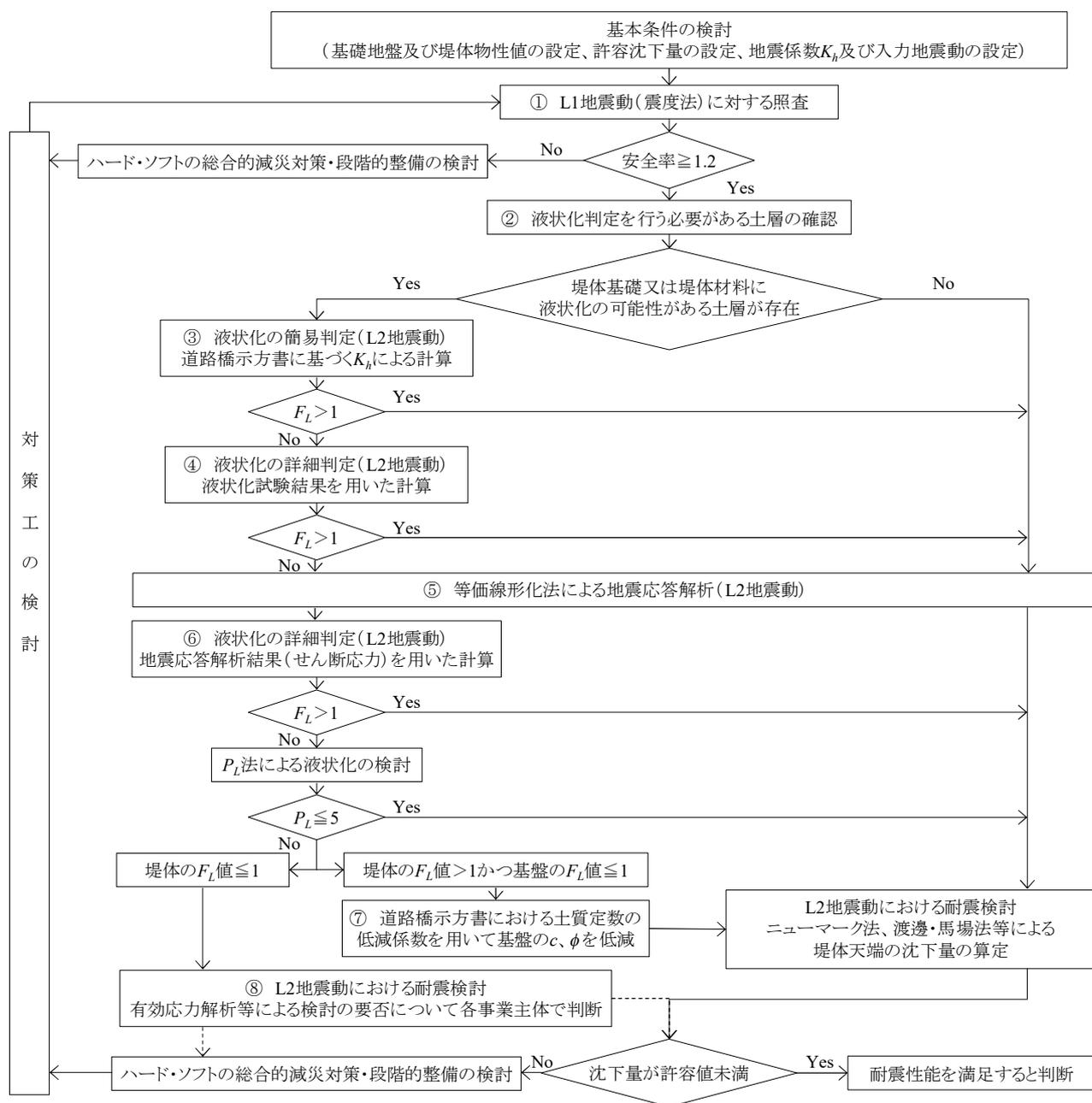


図-5 大溜池設計における耐震性能照査フロー

4. 大溜池のL2地震動に対する耐震性能照査結果

(1) 耐震性能照査を行う大溜池堤体断面

大溜池堤体における土質調査結果及びL1地震動に対する耐震性能照査結果から、図-6に示す堤体断面を設定した。段丘堆積層は、表層にN値8~20を示す風下層が分布しており、全体としてN値8~100とばらつきが大きい。また、堤体基礎には、N値0~20程度の沖積層が1.5m程度存在している。堤体盛土は、嵩上げ盛土と旧堤体盛土の2層構造と考えられるが、物性値に大きな変化はなく、N値も1~10程度とほぼ同一であり、締固め試験の結果、嵩上げ盛土及び旧堤体盛土ともにD値は平均で90%程度であった。

(2) 道路橋示方書及び液状化試験結果に基づく液状化判定

内陸活断層型地震に対する液状化判定結果を表-2に示す。現行指針及び道路橋示方書に示される土層、粒径、及び塑性指数等の条件に基づき、現況堤体材料について液状化判定の要否を判断した結果、堤体盛土及び堤体基礎のいずれもが液状化判定の対象となったため、まずは道路橋示方書に基づく K_{li} による液状化判定(F_L 法)を実施した。その結果、液状化対象層の大部分が $F_L \leq 1$ となり、液状化の発生が懸念されることがわかった。次に、液状化試験結果による繰返し三軸強度比を用いた液状化判定(F_L 法)を行ったところ、道路橋示方書に基づく判定結果と同様、液状化対象層の大部分が $F_L \leq 1$ となった。

(3) 等価線形化法による地震応答解析結果を用いた液状化判定

等価線形化法における解析パラメータ及び入力地震動を表-3及び図-7に示す。入力地震動は、調査対象地点に

おける東南海・南海地震または近畿圏内内陸直下型地震の内、対象施設への影響が最大となる地震動を設定した。なお、地震動は短周期地震波形(内陸活断層型地震)と長周期地震波形(プレート境界型地震)を選定しているが、本稿では、最大加速度が大きい内陸活断層型地震における検討結果について説明する。

等価線形化法による地震応答解析結果(せん断応力)を用いた液状化の詳細判定結果について、最小 F_L 値の分布図を図-8に示す。また、代表要素における F_L 値の時刻歴図を図-9に示す。図-8, 9に示すとおり、各要素は5~10秒間程度継続して $F_L \leq 1$ となっており、大溜池堤体について、L2地震動に対し継続的に液状化が発生することにより、堤体の強度低下が起こる可能性が高いことが明らかとなった。

図-5のフローに基づくと、次に動的有効応力解析等による追加検討の要否を判断する必要があるが、前述のとおり、同解析によるため池堤体の耐震性能照査として確立された手法はないことから、大溜池の耐震性能照査には採用しないこととした。一方、液状化発生時の堤体の強度低下による影響を確認するため、低減方法に検討の余地はあるものの、液状化範囲のせん断強度に低減係数2/3(道路橋示方書に示される液状化に伴う強度低減係数算出方法を参考に設定)を適用し、参考値としてニューマーク法により堤体の沈下量を算出した。その結果、L2地震動に対し、許容沈下量0.75 mを大きく上回る7.4 mの沈下量が算出された。

以上の結果及び現況堤体の評価(水位条件等)を踏まえ、大溜池について、現況堤体を残した改修方法では、L2地震動に対する耐震性能を満足することは困難と判断し、改修工法として、ため池堤体の全面改修を選定した。

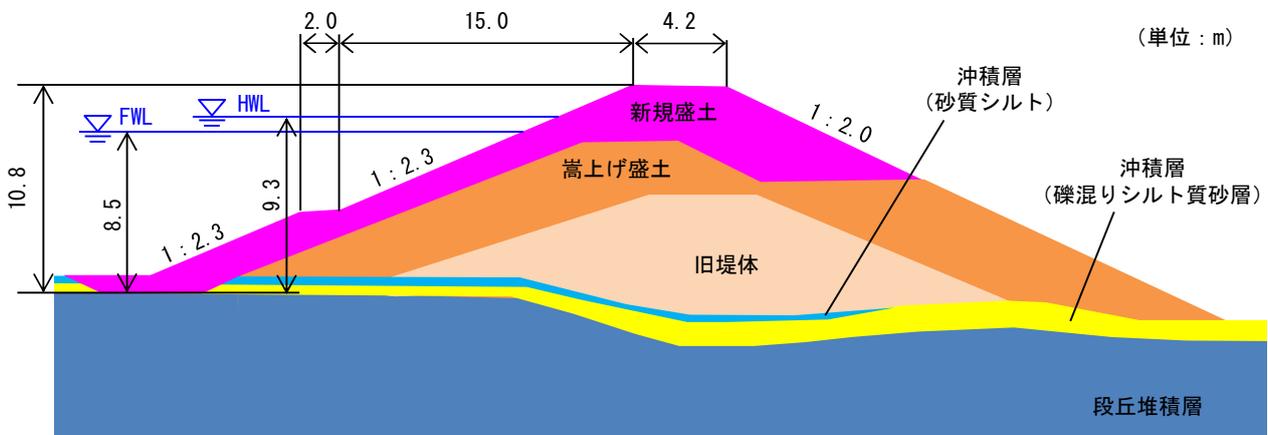


図-6 L2地震動に対する耐震性能照査を行う大溜池堤体断面の模式図

表-2 道路橋示方書及び液状化試験結果を用いた液状化判定結果 (内陸活断層型地震)

ボーリング実施年度	対象	詳細区分	深度 (m)	道路橋示方書に基づく判定			液状化試験結果を用いた判定		
				動的せん断強度比 R	地震時のせん断応力比 L	液状化に対する抵抗率 F_L	動的せん断強度比 R	地震時のせん断応力比 L	液状化に対する抵抗率 F_L
H18 (地盤高 81.85m)	堤体	嵩上げ盛土	5-6	0.441	0.637	0.69	0.246	0.637	0.39
			6-7	0.389	0.675	0.58	0.246	0.675	0.37
			7-8	0.318	0.704	0.45	0.246	0.704	0.35
			8-9	1.305	0.727	1.80	0.246	0.727	0.34
H20 (地盤高 73.38m)	基礎	沖積層	2-3	0.200	0.669	0.30	0.200	0.669	0.30
			3-4	0.335	0.753	0.45	0.335	0.753	0.45
H25 (地盤高 81.96m)	堤体	嵩上げ盛土	6-7	0.259	0.675	0.38	0.246	0.675	0.37
			7-8	0.253	0.704	0.36	0.246	0.704	0.35
			8-9	0.225	0.727	0.31	0.246	0.727	0.34
H30 (地盤高 81.21m)	堤体	旧堤体盛土	6-7	0.165	0.675	0.24	0.246	0.675	0.37
			7-8	0.217	0.704	0.31	0.246	0.704	0.35
			8-9	0.337	0.725	0.47	0.246	0.725	0.34
			9-10	0.338	0.742	0.46	0.246	0.742	0.33
			10-11	0.236	0.753	0.31	0.246	0.753	0.33
			11-12	0.256	0.761	0.34	0.246	0.761	0.32
	基礎	沖積層	12-13	0.319	0.766	0.42	0.319	0.766	0.42

表-3 等価線形化法における解析パラメータ

ゾーン区分		線形パラメータ					非線形パラメータ (双曲線モデル)	
		湿潤重量 (kN/m ³)	飽和重量 (kN/m ³)	動ポアソン比	初期せん断剛性 (MN/m ²)	減衰定数	γ_c (%)	h_{max} (%)
堤体	新規盛土	18.0	18.4	0.44~0.45	87~125	非線形パラメータ参照	0.035	17.76
	嵩上げ盛土	19.9	20.4	0.43~0.44	75~133			
	旧堤体	20.5	20.8	0.42~0.44	86~173			
基礎	沖積層 (砂質シルト)	19.6		0.42~0.45	34~274	0.0504	18.00	
	沖積層 (礫混りシルト質砂層)	20.3		0.42~0.44	49~335			
	段丘堆積物	20.0		0.35	410	0.05	—	—

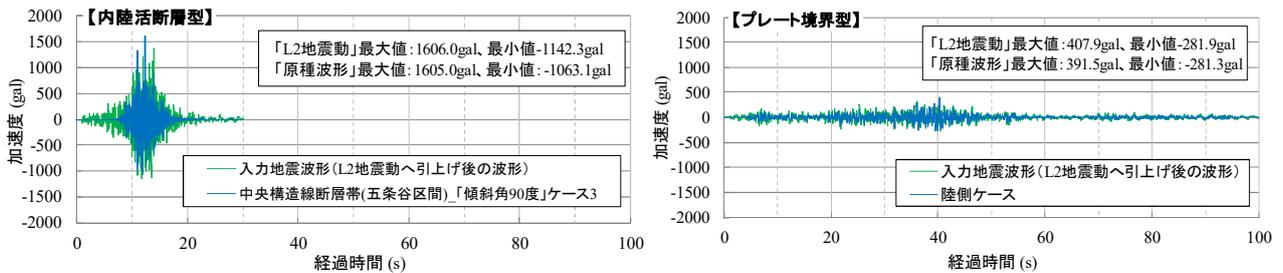


図-7 等価線形化法における入力地震動

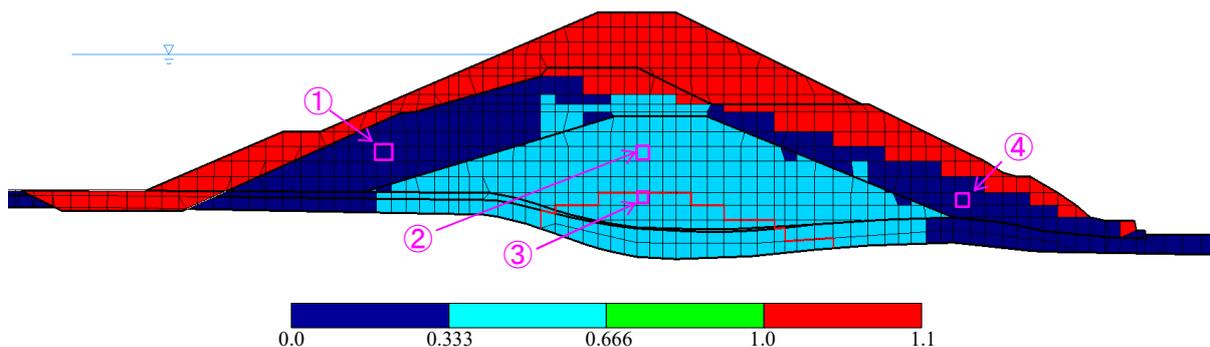


図-8 最小 F_L 値の分布図

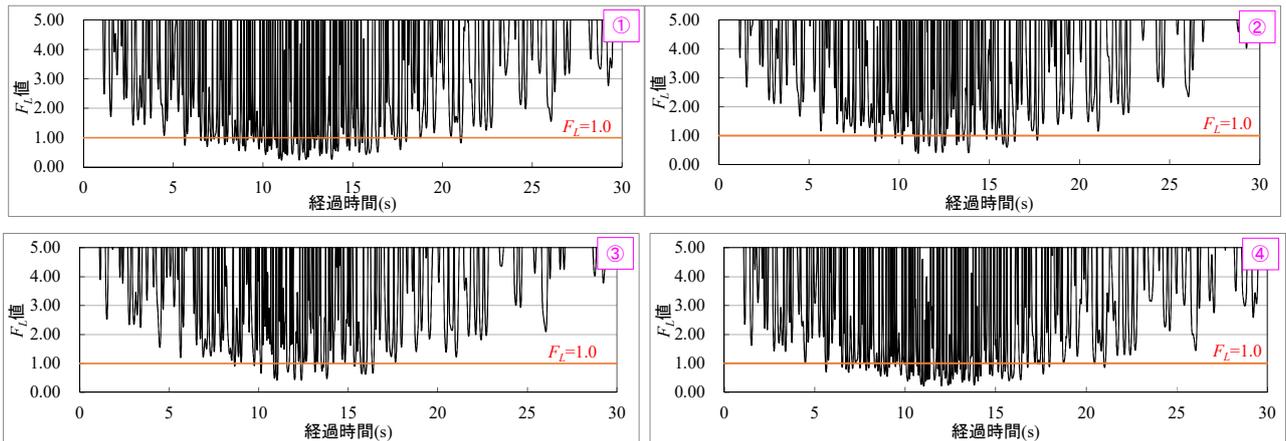


図-9 代表要素における F_L 値の時刻歴図（各要素位置は図-8を参照）

5. まとめ

本事業で改修を計画している大溜池の設計に際し、ため池堤体の耐震性能照査手順を検討し、検討した手順に基づき耐震性能照査を実施した。現行指針で明記されていないL2地震動に対する解析手法としては、フィルダムの設計で採用実績が多い等価線形化法による地震応答解析及びその結果を用いた液状化の詳細判定を採用した。道路橋示方書及び液状化試験結果を用いた液状化判定では、所定の加速度発生時におけるボーリング孔位置の瞬時的な F_L 値の算出しかできないことに対し、前述の地震応答解析結果を用いた液状化判定を行うことにより、各

堤体要素における F_L 値の経時変化を確認することが可能となり、地震時における堤体内の液状化発生状況をより詳細に検討することができた。耐震性能照査の結果、大溜池の堤体は、L2地震動に対し堤体の大部分で液状化が発生する可能性が高く、耐震性能を有しないことが判明した。そのため、現況堤体を残した改修方法ではL2地震動に対する耐震性能を満足することは困難と判断し、ため池堤体の全面改修を行うこととした。

参考文献

- 1) 公益社団法人農業農村工学会：土地改良事業設計指針「ため池整備」2015
- 2) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編,2017

AIによる地山判定システムの トンネル切羽への適用について

竹澤 央貴¹・谷村 浩輔²

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第二課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)

²清水建設(株)関西支店 土木第一部 現場代理人 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

従来、トンネル切羽の地山評価はトンネル技術者が目視で切羽観察を行っているが、評価が主観的でかつ経験差により評価結果にバラツキが出ることがある。また、トンネル習熟技術者の高齢化による減少も懸念され、これらからAI（人工知能）等の活用によりトンネル習熟技術者と同等で統一的な切羽評価を効率的に行うことが求められている。

本稿では、トンネル技術者が切羽を観察することにより行っていた切羽評価点算出 10 項目の評価区分付けを、AIを活用して切羽状況の電子データ(3D 写真画像、穿孔計測値)から行うシステムについて述べ、習熟技術者の判定結果との比較により精度検証した結果について報告する。

キーワード トンネル、ICT、新技術、AI、すさみ串本道路

1. はじめに

山岳トンネル工事において地山性状を適切に把握することは施工を安全で合理的に進めるために重要である。施工者は毎日の切羽観察により岩盤強度や風化状態などから地山の状態を把握しているが、近年ではICT技術を用いた画像解析やAIの活用により定量的に地山性状を把握する開発が数多く試行されている。

今回、紀南河川国道事務所発注「すさみ串本道路二色トンネル工事」の技術提案（指定テーマ）「AIを活用したトンネル切羽判定手法について」において受注者の清水建設(株)が提案したAIを用いた地山判定システムの実証実験を行った。

本工事はトンネル延長365m、最大掘削断面積108.5m²の大断面トンネルである。地質は泥岩主体の堆積岩であり、設計時の地山等級は低土被り部を除きDIとCIIが混在していた。

実証実験ではトンネル掘削毎に取得した切羽データからの切羽特徴量データをシステムに入力してAIによる地山判定を行い、地質技術者が切羽観察した切羽評価結果との比較を行った。本稿ではAIを用いた地山判定システムを適用した切羽評価の結果と精度について報告する。

2. 工事概要

工事名：すさみ串本道路二色トンネル工事

工事場所：和歌山県東牟婁郡串本町鬮野川地先～

二色地先

工期：平成31年3月14日～令和2年10月31日

発注者：近畿地方整備局 紀南河川国道事務所

施工者：清水建設株式会社 関西支店

工事区間：L=388.7m

ト初延長：L=365.0m

内空断面積（掘削）104.6～108.5m²
（仕上がり）90.6m²

工法：NATM（爆破掘削方式）

補助ベンチ付全断面掘削工法

上半先進ベンチカット工法



図2-1 現場位置図

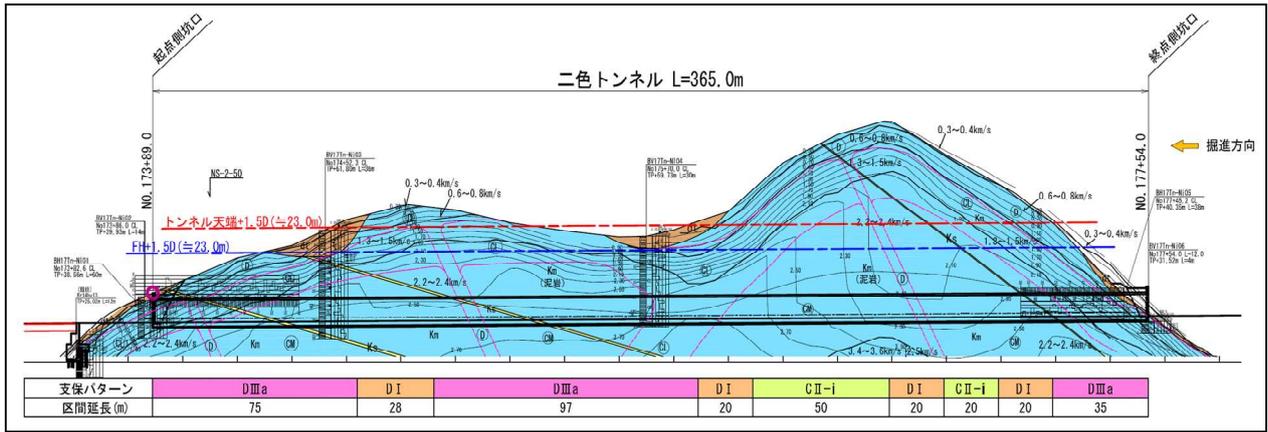


図 1-2 地質縦断面図

3. 切羽評価

当現場でのトンネルの掘削において「トンネル地山等級判定マニュアル」による切羽観察を1日1回実施した。トンネル切羽評価では図3-1に示すように、切羽を天端・右肩・左肩に分割して、各部についてトンネル技術者が目視観察を行って「風化変質」「割目状態」などの評価10項目に対する1~4の区分点数付けを行う。区分点数と岩質に応じた重み係数を用いて図3-2に示す式にて切羽評価点を算出する。このように計算された切羽評価点から地山等級の判定グラフを用いて支保パターンを判定する参考値とします。

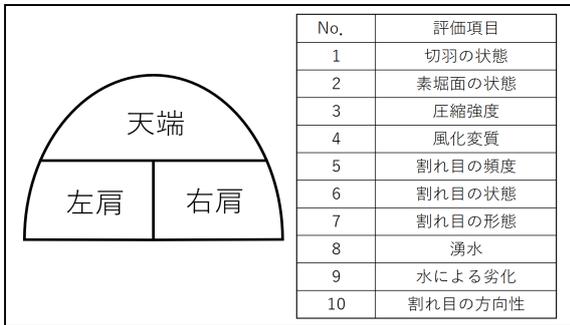


図 3-1 切羽分割と評価10項目

$$\text{切羽評価点} = \sum_{i=1}^n k_i (2 \times \text{天端}_i + \text{左方}_i + \text{右肩}_i) \quad (k_i: \text{重み係数})$$

図 3-2 切羽評価点の算出式

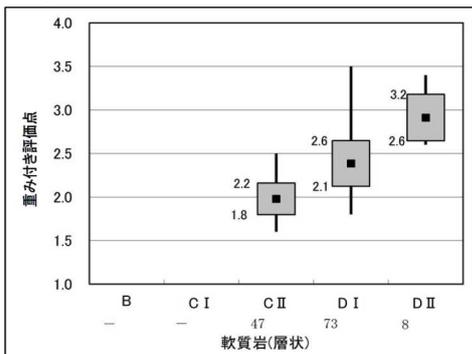


図 3-3 地山等級の判定グラフ (軟質岩・層状)

4. AI地山判定システムの概要

実証実験に用いた「AI地山判定システム」は、切羽から取得する「切羽写真」, 「切羽の3次元画像 (DEM画像)」, 「穿孔エネルギー」を用いて判定を行う。

(1)画像分類モデルによる数値化

「AI地山判定システム」では「切羽写真」および切羽3次元画像を入力することで切羽の「風化」および「割れ目」状態の特徴量を数値化する。

「風化」状態は、岩石が風化すると茶褐色に変色することを利用して「風化している状態」と「風化していない新鮮な状態」, 「中間的な状態」と3段階で分類する。この風化状態を分類するために切羽写真を横12×縦6の72分割してディープラーニングによる転移学習 (教師データ画像枚数約1200枚) で構築された風化分類モデルを用いる。切羽画像をシステムに入力して切羽写真の分割毎に風化分類モデルによる風化状態が評価された例を図4-1に示す。

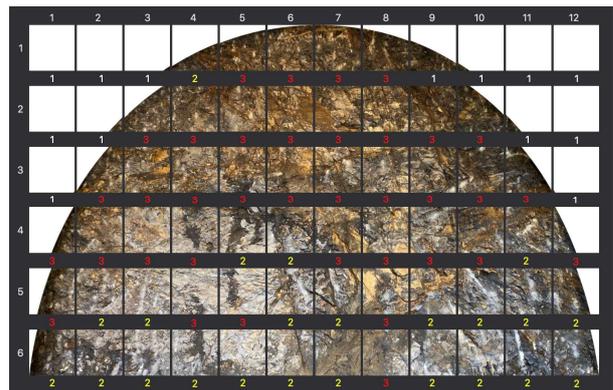


図 4-1 風化状態の評価された分類例

「割れ目」状態は、数値標高モデル (DEM) 画像で表現される割れ目の大きさにより3段階で分類される。DEM画像は、切羽を9アングルから撮影した複数枚の切羽写真を写真測量ソフトを用いて得られる3次元画像から変換された画像であり、割れ目の特徴が強調されるように閾値を設定した2値化処理を行っている。DEM

画像用の切羽撮影方法を図4-2に示す。この割れ目状態を分類するために切羽写真を横12×縦6の72分割してディープラーニングによる転移学習（教師データ画像枚数約370枚）で構築された割れ目分類モデルを用いる。DEM画像を割れ目分類モデルに入力してDEM画像の分割毎に割れ目状態が評価された例を図4-3に示す。

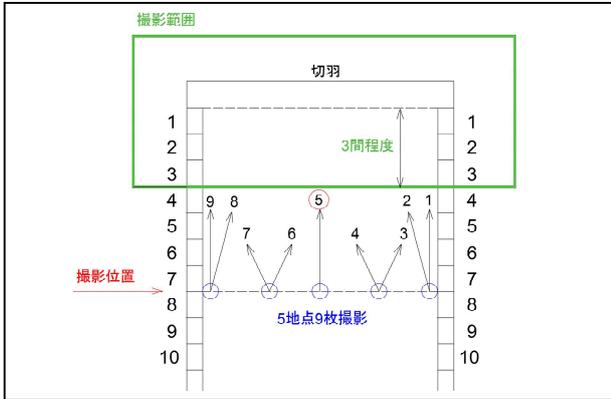


図4-2 切羽の複数角度撮影方法

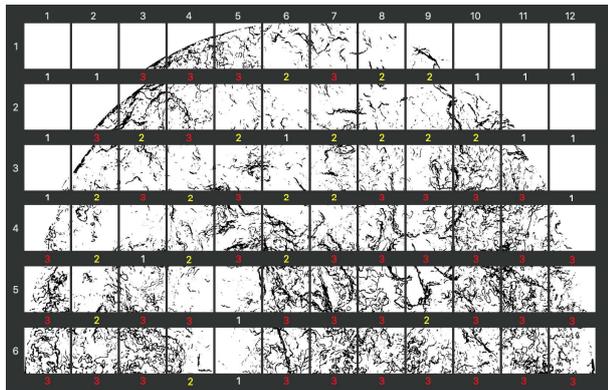


図4-3 割れ目状態の評価された分類例

(2) 穿孔エネルギーの取得

穿孔エネルギーは、トンネル削孔機（ドリルジャンボ）に取り付けた油圧機器の計測データ（打撃圧、フィード圧、ストロークなど）から計算される穿孔時のエネルギー換算値であり岩盤の圧縮強度に関連した数値である。穿孔エネルギー値はトンネル掘削前に10箇所の穿孔を行って計測し、計測値の統計処理による異常値を排除して切羽の硬軟を表す特徴量として用いる。



図4-4 ドリルジャンボの穿孔作業状況

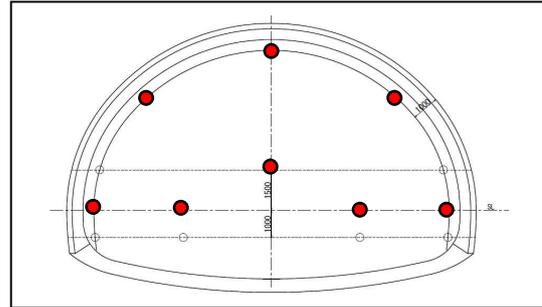


図4-5 穿孔エネルギー取得位置図

(3) 地山判定モデル

システムでは、切羽データから獲得した特徴量数値化データおよび穿孔エネルギー値と1日1回実施するトンネル習熟技術者の切羽評価結果との関係性を学習（機械学習）した「地山判定モデル」により切羽評価点のAI判定を行う。この「地山判定モデル」は切羽の天端、右肩、左肩における評価10項目それぞれに対応した30モデルから構成され、切羽特徴量を入力すると習熟技術者の評価を反映させた評価結果を項目別に出力可能にしている。本システムのデータ取得から切羽評価出力までのフローを図4-6に示す。

5. 実証実験の結果

実証実験ではシステムのAI判定モデルをトレーニングする区間（学習区間）と学習済モデルで未知の切羽（これから評価させる切羽）に対して評価する区間（予測区間）に分けて、システムの評価結果とトンネル習熟技術者の評価結果との比較を行った。

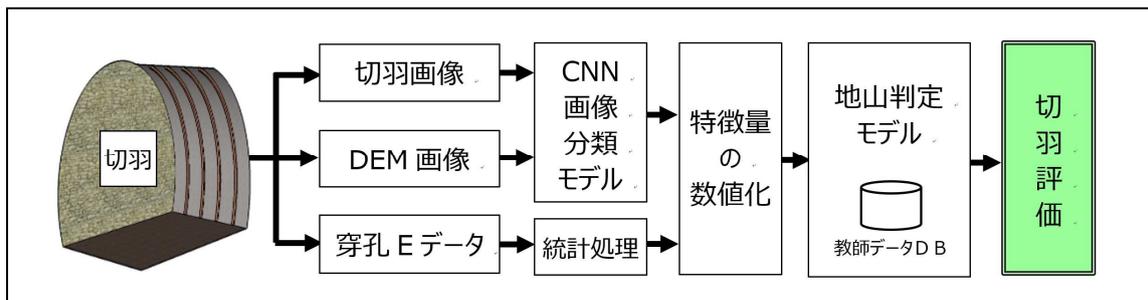


図4-6 AI地山判定システムの処理フロー

当初、掘削開始の位置から50mまでの区間における切羽特徴量と習熟技術者の切羽観察結果を教師データとして学習させたモデルを用いて残りの切羽を評価した結果を図5-1に示す。50mまでの学習データ(22データ)では地山判定モデルの予測評価は全体的に大きくバラつく結果となった。50mまでの区間では学習データ数が少ないため、掘削当初の低土被り区間のデータ割合が多くなり、特徴量から切羽評価点が比較的高い値を出力するモデルとなったのが原因と考えられる。次に、地山判定モデルの学習データ数を増やすために学習区間を200mまでにした場合の結果を図5-2に示す。200mまで学習区間を広げると地山判定モデルの学習データ数が50mに比べ2.6倍(57データ)となり特徴量に対する切羽観察評価とのパターン数が増え、切羽観察とAI出力の評価結果が近づいたと考えられる。また、習熟技術者が切羽評価した全評価結果を地山判定モデルの学習に用いた場合は、図5-3に示すように全体的に切羽観察結果により近づく結果となった。特に起点側、終点側の両坑口部付近では切羽評価点が高くなっており、切羽特徴量から習熟技術者による評価結果を反映した結果が再現されていると考えることができる。

切羽観察の評価項目別でAIが付けた評価区分の点数と習熟技術者による評価区分の点数における一致率を計算すると表6-1のような結果となった。

表6-1を見ると切羽評価点における重み係数が大きい(重み10以上の黄色着色部)項目で天端の一致率が向上している。切羽評価点の計算式において天端の点数は2倍されるため切羽評価点の算出では大きく影響する要素であるため習熟技術者の評価結果に近いと考えられる。

評価項目No.6, No.7の割れ目に関する評価項目では一致率が低く特徴量として用いたDEM画像では割れ目状態を十分に捉えきれていないと考えられる。

評価項目No.8, No.9の湧水および水による劣化では、トンネル全線で湧水が無かったため学習データのほとんどが同じ区分点数となり、AI評価も同じ区分点数に限られてしまい一致率が高くなっている。

表6-1 評価項目別のAIと観察評価との一致率

No.	評価項目	50mまでの区間			200mまでの区間			重み係数
		左肩	天端	右肩	左肩	天端	右肩	
1	切羽の状態	52.2%	72.5%	63.8%	70.6%	94.1%	70.6%	16
2	素堀面の状態	91.3%	95.7%	94.2%	88.2%	91.2%	94.1%	8
3	圧縮強度	92.8%	72.5%	95.7%	91.2%	73.5%	91.2%	26
4	風化変質	84.1%	46.4%	89.9%	61.8%	55.9%	79.4%	13
5	割れ目の頻度	87.0%	82.6%	85.5%	85.3%	82.4%	91.2%	6
6	割れ目の状態	55.1%	18.8%	69.6%	82.4%	52.9%	85.3%	3
7	割れ目の形態	50.7%	55.1%	49.3%	26.5%	38.2%	41.2%	6
8	湧水	94.2%	87.0%	95.7%	88.2%	97.1%	94.1%	9
9	水による劣化	97.1%	85.5%	100.0%	100.0%	94.1%	100.0%	13
10	割れ目の方向性	42.0%	40.6%	33.3%	44.1%	29.4%	44.1%	—
		21.7%	17.4%	31.9%	35.3%	41.2%	29.4%	—

(黄色表示：天端で重み係数10以上)

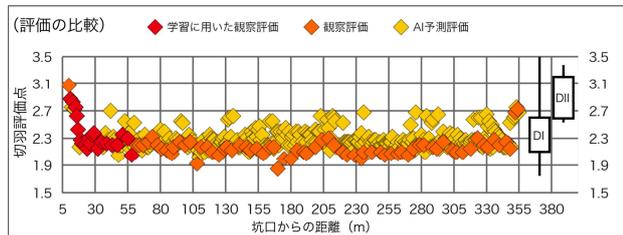


図5-1 学習区間50mまでの結果

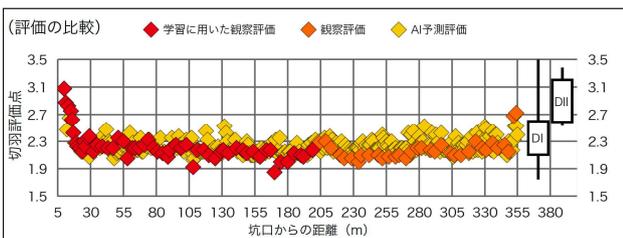


図5-2 学習区間200mまでの結果

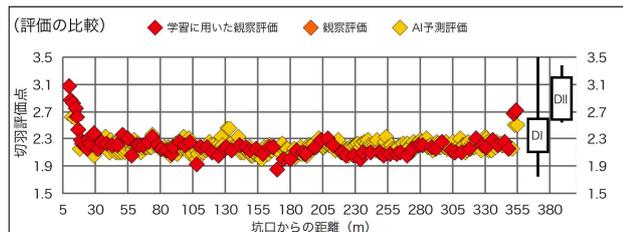


図5-3 全ての切羽観察結果で学習した結果

今回実証実験を行ったトンネルでは出現する地山が泥岩主体の様な堆積岩であり、習熟技術者が付けた切羽評価点はほとんどがD Iパターン(2.1~2.6の範囲)となるような状態であった。このような地質が出現する切羽に対してAIシステムの学習と予測を行った結果、本手法の切羽判定への有効性を確認することができた。

今後は、さまざまな岩種や風化変質程度の地質に対して本システムを適用して実地での検証を積み重ねていくことで、より精度の高い切羽判定が実施できるようになるものと考えられる。

参考文献

- 1) 近畿地方整備局道路部道路工事課：トンネル地山等級判定マニュアル(試行案)，2016年。
- 2) 長谷川裕員，邊見涼，鳥居 敏，谷村浩輔，淡路動太：山岳トンネルの地山評価における深層学習とアンサンブル学習の適用，人工知能学会全国大会(第34回)，2020年。
- 3) 長谷川裕員，邊見涼，鳥居敏，辻正邦，淡路動太：山岳トンネルの切羽評価におけるAI適用手法の開発，土木学会第75回年次学術講演会，2020.9【投稿中】
- 4) 笹島和彦，邊見涼，長谷川裕員，鳥居敏，淡路動太，中田圭祐：山岳トンネルの切羽評価におけるAI適用手法の開発，土木学会第75回年次学術講演会，2020.9【投稿中】

3Dモデルを用いた交差点の安全対策の検討

橋本 康平

長浜土木事務所木之本支所 道路計画課

当支所では、県道木之本高月線において2箇所（高野交差点、馬上交差点）の交差点改良を含む拡幅事業を実施しており、交差点計画の可視化による地元との合意形成の迅速化を目的として、3D走行シミュレーション動画を作成している。高野交差点ではラウンドアバウトの利用状況をマイクロシミュレーションで再現した3D走行シミュレーション動画を作成しており、馬上交差点では視認性に対する安全対策の効果を3D走行シミュレーション動画で検討している。本稿はこれらの3Dモデルの作成における検討事項について報告するものである。

キーワード 3D走行シミュレーション, 交差点安全対策, 地元合意

1. はじめに

木之本高月線は長浜市木之本町石道を起点とし、長浜市高月町馬上の国道365号に至る延長約3.2kmの一般県道である。起点から約1kmは改良済みであるが、高野交差点から馬上交差点の延長L=2.2kmについては、幅員が狭く大型車の離合が困難な区間や急なクランクの線形不良箇所が残るなど、非常に危険な道路状況となっている。



図-1 事業区間位置図

そのため当該区間において現道拡幅による道路改良を計画しており、地元自治会と計画協議を実施してきた。

しかしながら起点の高野交差点および終点の馬上交差点の交差点計画について十分な地元合意を得ることができていない状況であり、長期間にわたり協議を繰り返しているが、詳細な計画を提示することができていない。

地元合意が進まない要因として、「両交差点が抱えている課題が複数あり、交差点の安全対策について明瞭なイメージを自治会内で共有するのが難しいこと」、「三

つの自治会が関連しており、合意形成の対象が多いこと」が挙げられる。

以上のような背景より、複数の自治会に両交差点の安全対策について十分な理解を得ることが必要であることから、交差点計画の可視化による合意形成の迅速化を目的として、3Dモデルを用いた交差点の安全対策の検討を行うこととした。

2. 課題の抽出

過年度の関係者協議より各交差点の課題を抽出し、安全対策を検討した。

(1) 高野交差点の課題

高野交差点は周囲に田園が広がっている見通しのよい交差点にもかかわらず車両同士の出会い頭の衝突事故が起きている。この事象は、交差車両が同じ速度・同じ角度で近づいてくると車両が動いていないように見えて、直前まで危険を認識できず衝突してしまう「コリジョンコース現象」が起りやすい環境であることが原因と推測される。



図-2 高野交差点 現況写真

これまで関係自治会から信号設置の要望を受けていたが、交通管理者との協議結果より信号設置が難しいため、高野交差点においては車両の速度抑制による安全性の向上が期待され、「コリジョンコース現象」の対策としても有効なラウンドアバウトを計画することになった。

ラウンドアバウトの導入について地元自治会から意見聴取を行ったところ、利用面での不安が多く寄せられた。意見聴取の結果を表-1に示す。意見聴取の結果から通学時の子供の横断、ラウンドアバウトへの進入方法、雪の影響といった点を課題としてとらえていることがわかった。

表-1 地元自治会の意見聴取結果（高野交差点）

NO.	内 容
①	優先車両がわからないので、どのようにゆずって進入するのかわからない。
②	間違っ逆走をしてしまわないのか。
③	通学路に指定されているので、子供が安全に渡ることができるのか。
④	交差点内で並走や追い抜きができてしまうのではないのか。
⑤	中央の交通島に衝突することはないのか。
⑥	交差点中央に堆雪した場合、視認性が悪くならないのか。

(2) 馬上交差点の課題

国道365号と交差する馬上交差点は市道との交差点と近接し、2つの交差点が連なる変形5差路の交差点である。また国道365号に緩勾配が確保されていないこともあり視認性が悪く、交差点内に流入する際の出合い頭の衝突事故や横断歩道上での事故が懸念されている。



図-3 馬上交差点現況写真

この課題を抜本的に解消するためには、縦断勾配を緩やかにして、道路計画高を上げる必要があることから、県道沿いの家屋が接道できなくなる。そのため地元自治会との協議より現況交差点の形状をベースとした計画を進めることとした。

しかしながら、各種安全対策を施し、現況よりも安全性を確保した計画が求められている。そのため、交差点計画に関する課題について地元自治会から意見聴取を行った。

意見聴取の結果を表-2に示す。意見聴取の結果より視認性の改善を求める意見が多いことがわかる。また、現況交差点は市道が主道路で県道が従道路となっており、県道拡幅に伴い主従が逆転するため、主従逆転に伴って予測される課題の解消も合わせて求められている。

表-2 地元自治会の意見聴取結果（馬上交差点）

NO.	内 容
①	横断歩道が国道365号に近いので、視認性が悪く横断が不安。
②	国道365号から流入する車両にとって市道交差点が連続していることが認識しにくい。
③	県道に右折渋滞が発生しないようにしてほしい。
④	馬上交差点に右折車が停車すると、左折車の視認性が著しく悪くなるのでは。
⑤	県道が渋滞した際に、主従が逆転すると市道で車両が滞留する。その際、市道の幅員が狭く、車両の離合および歩行者の通行が危険。

3. 3D走行シミュレーション動画の作成

1) 高野交差点

ラウンドアバウトは流入する交通量が多く、環道内に滞留が起こると流入が難しくなる。そのため、ラウンドアバウト内の滞留状況を予測しないと、現実と異なる3D走行シミュレーション動画となる可能性があることから、マイクロシミュレーションにより環道内の滞留状況を予測した。マイクロシミュレーションは渋滞対策の効果検証等に活用されており、交差点内の車線数の増加や信号現示の変更を車1台単位の挙動で表現することが可能である。マイクロシミュレーションを使用してラウンドアバウトへの流入状況を車1台単位の挙動で表現し、ラウンドアバウトの利用状況を予測した。またマイクロシミュレーションは既存交通量調査結果のピーク時間帯（AM7：00～AM8：00）を対象に実施し、走行速度は「ラウンドアバウトマニュアル」¹⁾に掲載の南丹市八木のラウンドアバウトにおけるプローブ走行調査を基に、ラウンドアバウト流入部は5km/hにラウンドアバウト環道部は20km/hに設定した。

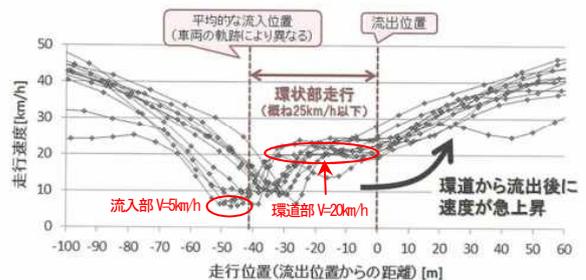


図-4 ラウンドアバウトにおける速度変化の例¹⁾

まずピーク 1 時間の交通量を乱数的に走行させてシミュレーションを行い、その交通流の時間の推移に伴う変動を確認した。木之本高月線の交通量は平成27年センサスによると1,654台/日であることから分かれるとおり、交通量が比較的少ない路線である。そのためほとんどの時間帯でラウンドアバウト内に滞留することなく通過することができた。

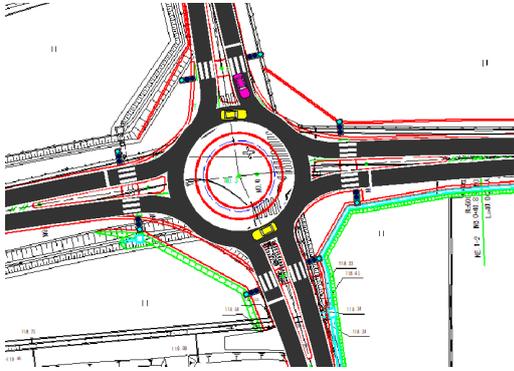


図-5 ミクロシミュレーション結果 (通常時)

次に通学時の横断歩行者への影響を動画に再現するにあたり、「交差点内に流入する車両が最大となる際に歩行者を横断させた場合」を検討した。この動画により、もっとも流入状況が多い状況に小学生がラウンドアバウト内を集団登校する際の安全性が確認できる。

なおミクロシミュレーションには歩行者の挙動を再現できない。そのため通学路となる横断歩道の位置に模擬的に信号を設置し、歩行者が横断するのに要する時間の分だけ信号で車両を停止させた。交通量調査によると朝の通学時間帯の歩行者数は14人であった。この人数が集団登校で交差点内を横断することを想定し、歩行者14人が横断歩道を渡り切れる時間を11秒に設置した。なお横断時間は「平面交差の計画と設計 基礎編」²⁾より歩行者現示時間の最小値を参照してもとめた。

ミクロシミュレーションの結果、流入が集中する確率は1時間に1回程度であるが、最大で5台の滞留が確認された。この交差点内に流入する車両が最大となるタイミングで横断歩道位置の模擬信号により11秒停車させた場合をミクロシミュレーションで再現し、「交差点内に流入する車両が最大となる際に歩行者を横断させた場合」のラウンドアバウト内の滞留状況として3D走行シミュレーション動画に反映させた。

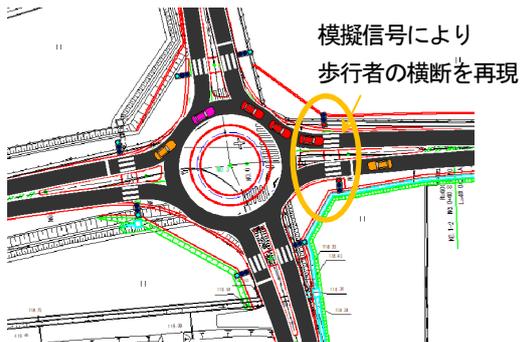


図-6 ミクロシミュレーション結果 (横断時)

このように作成した3D走行シミュレーションより、交差点の安全性を検証したところ、約30秒で渋滞が解消され、長時間の渋滞を招かないこと、ラウンドアバウトにはみ出て滞留することなく安全にラウンドアバウトを利用できることが確認できた。また、ミクロシミュレーションによると、ピーク時であっても環道内に滞留するのは1時間に1回程度と予想されており、地元自治会で懸念されているような利用上の課題は、標識や区画線による誘導など一般的な対策で問題ないと考えられる。



図-7 3D走行シミュレーション (俯瞰)

次に3D走行シミュレーションを使用して、交差点内に流入する車両が最大となる際の交差点内の状況を歩行者視点で確認した。その結果、歩行者のたまり場から視線を遮るものもなく車の走行状況が明確に確認できた。そのため信号が無く車の動きが通常の交差点とは異なるラウンドアバウトでも、十分に予測して横断できると考えられる。



図-8 3D走行シミュレーション (歩行者視点)

その他、ドライバー視点の3D走行シミュレーションにより、たまり場の歩行者を明確に目視できることを確認しており、交差点内に流入する車両が最大となるタイミングで集団登校による横断が行われても安全に利用できることを確認した。

この3D走行シミュレーション動画に加え、堆雪時の3D走行シミュレーション動画を作成した。これは「交差点中央に堆雪した場合に視認性が悪くならないのか」という意見を反映したものである。高野交差点は「近江の道づくりマニュアル (案)」³⁾に掲載されている一次堆雪幅設置図により、最大積雪深を約80cmと想定し、80cm

の堆雪を想定した動画を作成した。

まず分離島に堆雪した際の歩行者に対する視認性の確認を行った。その結果ラウンドアバウトへ流入する際、分離島に堆雪すると歩行者の視認性が落ちることが確認された。そのため分離島を1mセットバックして堆雪しても歩行者が見やすくなるような位置に計画を変更した。なお、流出する際については大きな支障は確認されなかった。



図-9 分離島の間をわたる歩行者の確認 (変更前)



図-10 分離島の間をわたる歩行者の確認 (変更後)

また、車両が環道内に流入する際の視認性についても確認を行っているが、堆雪による影響は少ないことが確認できている。



図-11 環道内に流入する際の視認性の確認

2) 馬上交差点

地元自治会の聴取意見からまとめた5つの課題(表-2)について図12のような7つの対策を提案しており、これらの対策案について3Dモデルを用いて検証している。

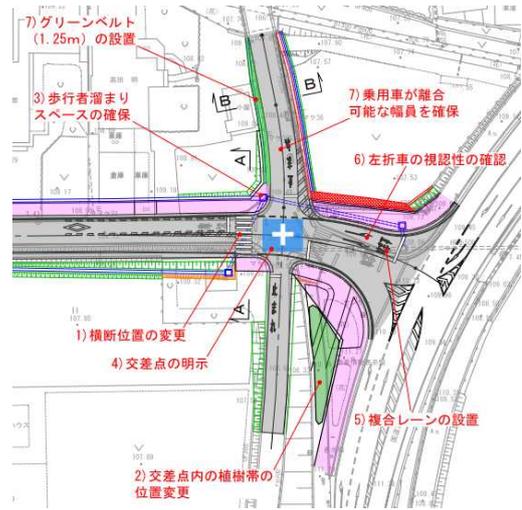


図-12 安全対策平面図

現況交差点では、隅切り内に植栽帯が設けられているため、植栽帯によって交差点内の視認性を低下させている可能性がある。そのため交差点内の視認性が改善されるように、植栽帯位置の変更を提案し、その効果を3Dモデルおよび3D走行シミュレーション動画を利用して検証した。



図-13 現況交差点

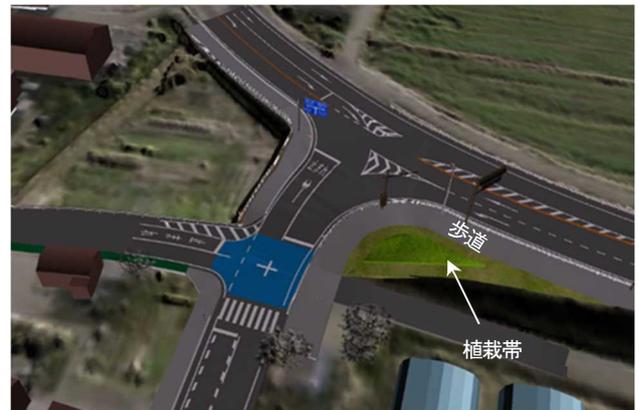


図-14 計画交差点

3D走行シミュレーション動画によりドライバー目線の視認状況を確認するとともに、3Dモデルと現況の3次元点群データを比較し、その効果を評価した。

国道365号から県道に左折する手前の視点では、図15に

示すとおり、現況は植栽帯で左折する先が見えにくい、図16のとおり、計画案では植樹帯の位置を変更して隅切りを設けたため、左折する先が視認できる。そのため、危険予知がしやすくなり安全性が向上すると考えられる。



図-15 現道の状況（国道365号から県道への左折レーン）



図-16 計画案（国道365号から県道への左折レーン）

次に、国道365号から県道に左折する直前の視点を確認したところ、図17に示すとおり、現況では植樹帯の中から急に歩行者が出てくるように見えるのに対して、図18のとおり、計画案では、歩行者の導線をドライバーが確認しながら運転することが可能であり、横断歩道上の接触事故を防止できる。また、横断歩道の位置を変えることにより、歩行者に対する視認距離を長くとれていることが視覚的によくわかり、安全性の向上が確認できる。



図-17 現道の状況（国道365号から県道に左折する直前）



図-18 計画案（国道365号から県道に左折する直前）

市道から交差点に流入する際の視認性の確認も行っている。現況は図19に示すとおり植栽帯で国道365号が見通せないのに対して、図20のとおり植栽帯の位置変更により、計画案では市道からでも国道365号が見通せるため、国道365号から流入する車両との出会い頭の衝突事故を避ける効果があると考えられる。



図-19 現道の状況（市道から国道365号を望む）



図-20 計画案（市道から国道365号を望む）

更に、複合レーンの安全性について検証を行っている。過年度の地元自治会との協議により、馬上交差点で右折渋滞の発生を抑制するために複合レーンの設置を検討することになった。複合レーンは右折渋滞の発生を抑制することはできるが、一方で右折車が交差点内に停車すると、左折車の視認性が著しく悪くなる可能性がある。その

ため、3D走行シミュレーション動画により複合レーンを設置した際の安全性を確認した。



図-21 複合レーン設置案

3D走行シミュレーション動画で複合レーンに右折車が停車している際に、後続の車が複合レーンから左折する時の視認性を確認したところ、図22のとおり、ほとんど国道の往来状況が確認できないことがわかった。この3D走行シミュレーション動画を用いて公安協議および地元協議を行い、複合レーンの採用は見送ることになった。

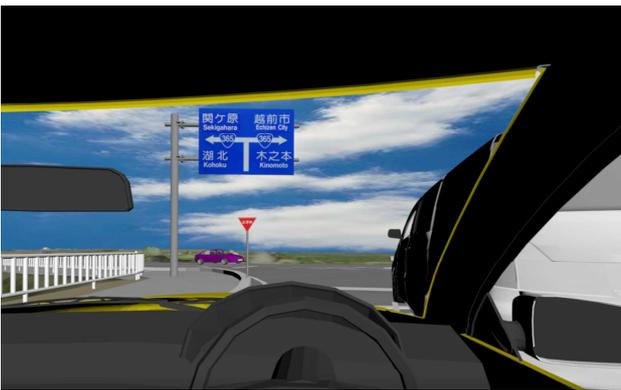


図-22 複合レーンの視認性確認（後続車視点）

また県道が渋滞しても市道で安全に滞留しながら渋滞待ちができるように市道の拡幅を代替案として提案している。通学路となっているため、3D走行シミュレーション動画で車両同士および歩行者が安全に離合できることを確認した。



図-23 市道拡幅案の確認

4. 今後の展望と課題

3Dモデルで検証した検討事項は過年度においても平面図・横断図等で説明してきたものであるが、3Dモデルによる検証結果を見ていただくことで、今まで理解していただけなかったことが映像だけで理解していただけた。また、事業者側としても気づかなかった課題が見えてくることもあり、事業者と地元自治会ともに事業計画に対する相互理解が大きく深まったとも言える。

また、事業としては現道拡幅事業であるため、情報化施工の採用については検討中であることから、全区間を3Dモデル化するのではなく、懸案事項の交差点計画に絞って3Dモデル化を行った。そのため3Dモデル化の作業量も少なく済み、短時間に検証を済ませることができ、時間的にも経済的にも非常に効率的であった。以上を踏まえ、計画段階の課題事項の解決のために3Dモデルを部分的に活用することは、特に平面図では把握しにくいような視認性などの確認に大きな効果が期待でき、事業を円滑に進めるために有効な手段であると考えられる。

しかしながら高密度の3次元点群データを使用するには、大容量のデータ処理が伴うことから、ハイスペックなパソコンおよびライセンス購入が必要な専門ソフトが必要になる。そのため必要な設備をそろえないと活用できないという課題がある。今回は3次元点群データ、3Dモデル、3D走行シミュレーション動画について、フリーライセンスで使用できるビューワーで確認できること、通常のスペックのパソコンで利用できることを条件とした。そのため検証に影響のない程度に3次元点群データ点群密度の削減するといった工夫などを行い、地元説明を行う際においても、ソフトのライセンス購入をせず、また通常使用しているパソコンで十分対応が可能であった。しかしながら利用環境に条件をつけると、技術的に可能な範囲も限られることから、モデル作成に入る前にモデルを使用してどのような検証を行うのか、どのようにモデルを活用していくか十分な検討が必要である。

最後に、本件のような事業計画段階における3Dモデルの利活用は、関係者との迅速な合意形成に貢献し、事業効果の早期発現につながる有効的な手段と考える。そのため今後の積極的な利活用と事例研究が進み、効果的な手法が確立されることを期待している。本件の取り組みも今後のケーススタディの一事例になるように引き続き取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 一般社団法人交通工学研究会；ラウンドアバウトマニュアル
- 2) 一般社団法人交通工学研究会；平面交差の計画と設計 基礎編
- 3) 近江の道づくりマニュアル（案）；滋賀県土木交通部道路整備課、

道路保全課

航空レーザ測量による河川定期縦横断測量について

上畑 祥吾¹・大岩 仁志²

¹近畿地方整備局 国営飛鳥歴史公園事務所 調査設計課(〒634-0144 奈良県高市郡明日香村大字平田538)

²近畿地方整備局 木津川上流河川事務所 工務課(〒518-0723 三重県名張市木屋町812-1)

平成29年度から国内稼働をはじめた航空レーザ測深システム(ALB: Airborne Laser Bathymetry)が、河川測量に利用される場面が増えてきており、河道状況を効率的かつ詳細に把握するツールとしての期待が高まっている。木津川上流管内では、河道への現地立ち入りが困難な区間もあるため、河川定期縦横断測量の代替としてALBで縦横断図を作成することとしたが、水質の影響により想定した深さまでの測深ができず、現地補備測量を併用することとなった。本稿では、管内の計測実施状況、他河川における水質と測深深度の関係等を交えつつ、ALBを河川で利用する場合の課題について整理した。また点群データを利用した図面作成方法のポイント等についても考察した。

キーワード ALB, 水質, 河川定期縦横断測量, 点群データ

1. はじめに

平成17年度に水系一環治水安全度評価に航空レーザ測量(近赤外レーザで陸域のみ対象)が利用されて以降、MMSやUAV等の登場により三次元計測技術が河川分野で普及をはじめた。近年ALBの国内稼働もあり、水陸一連の面的な地形測量への期待から「河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)」¹⁾(以下、マニュアル(案)と称す)も施行された。

木津川上流管内においては、現地立ち入りの厳しい渓谷が位置しており管理用の横断図を更新できない区間がある。そのような箇所を含め管内全域の横断図を更新すべく、ALBを実施したものである。計測は、水位・濁りが安定した落葉期(2月)に実施したが、測深可能深度は2m程度に止まり、植生域においては一部で地表面へのレーザ到達が曖昧となる箇所も生じ、地上作業による確認等も必要となった。

一方、福井河川国道事務所が管理している九頭竜川中流域においては、6mまでの測深により河床の欠測はほとんどなく、横断図作成におけるALBの適応性も報告²⁾されている。

本稿では、木津川上流管内のALB実施状況、他河川の事例等も交えつつ、ALBに関する課題について整理する。また、点群データから縦横断図を作成するうえで、

効率的な手順も確立されておらず課題も多い。点群データの特性、マニュアル(案)が示す方向性等を踏まえ、図面作成方法についても考察した。

2. 木津川上流管内の状況と従来測量における課題

今回の計測では、三重県上野盆地を北流する本川に岩倉大橋付近で支川(服部川・柘植川)が合流、その後狭隘な山間部を蛇行しながら西流し、京都府に及ぶ約30kmの管理区間を対象としている。盆地部の構造は有堤を基本とし、大きな淵等もなく平常時の水深は2m程度である。一方、山間部は堰の設置や蛇行による河床の侵食等により水深は9m程度に達する区間も点在する。管内の水質は、環境基準の類型指定はA類型として指定(昭和47年11月に指定)され、良好な水質を維持している。なお、西流区間は現地立ち入りが困難な箇所が点在し、定期的実施する縦横断測量においては、過年度の図面複写で対応している状況にある(図-1)。



図-1 計測区間の状況

3. ALBの実施（木津川上流管内での課題）

(1)計測諸元

国内で稼働するALBは、近赤外レーザで陸域、緑色レーザで水域を計測するシステムが主流だが、今回は緑色レーザで水陸一連の計測が可能なシステムを使用した(図-2)。計測は、安定した飛行で高密度点群が取得できるよう諸元を設定した(表-1)。

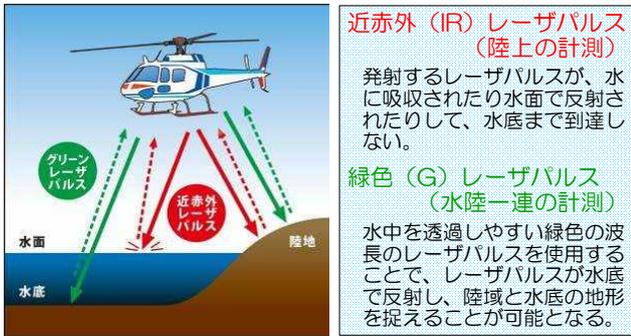


図-2 ALBの概念図

表-1 計測諸元

項目	諸元	備考	
計測システム	SAKURA-GH (RIEGL 社 VQ-880-GH)	回転翼機に搭載	
データ記録方式	波形記録式		
対地高度	約 610m		
対地速度	約 100km/h		
計測密度	緑色	24 点/m ²	水域陸域の地形対象
	近赤外	4 点/m ²	水面対象※
コース間重複度	50%		
カメラ地上解像度	10cm/pixl		

※水中を透過するレーザの減速・屈折を補正処理するため近赤外線レーザを使用。

(2)計測実施のタイミング

ALBには、より深くまでレーザを到達させることが求められる。そのため、測深時は水質が良好であること、水位が高くないこと等に留意しなければならない。また同時に取得する陸域については、植生の影響を受けにくい落葉期が望ましいため、次の条件下で計測を実施した(表-2)。

表-2 計測時の条件

項目	条件	備考
時期	2019年2月24日, 25日	好天時
水位	平常時水位	降雨から4日後
濁度 (水質※)	4地点: 2NTU前後 2地点: 4~5NTU	図-1参照

※水質調査については、「3.水質と測深深度の関係」にて詳述。

なお、濁度については過去一年間で毎月流量観測時に実施した濁度調査の最良時で2NTU前後であり、4地点で同程度の値を確認し実施に至っている(すべての地点で2NTU前後となる機会は少ないと判断)。

(3)計測結果に基づく課題

a) 測深深度

今回の計測においては、水深約2mまでの測深に止ま

り、河床勾配の緩い岩倉大橋から上流側の本川、支川は欠測がなく河床を明瞭に捉えたが、山間部を流下する下流側については、深掘箇所、堰の湛水域で欠測が多く発生した(図-3)。

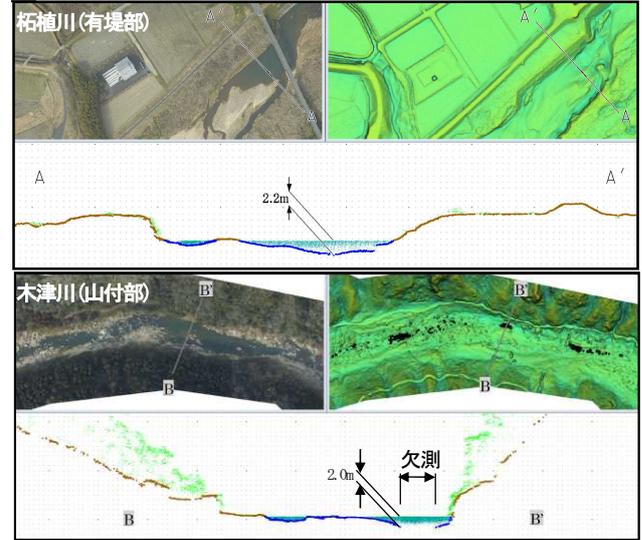


図-3 データ取得状況(水部)

b) 植生下の取得状況

2月計測により計測範囲全体では地表面へのレーザ透過は比較的良好であった。特筆事項としては、有堤部では高水敷に繁茂したクズ、ヨシ群落等により地形が曖昧となる箇所が一部あったが、植生パターンに応じた確認測量により、点群が地形を表現していることを確認した。一方、山付部には水際に竹林の繁茂が各所に見られたが、レーザの透過に影響は少ないことを確認した(図-4)。

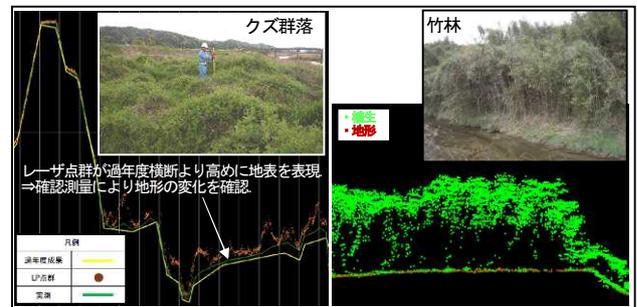


図-4 データ取得状況(陸部)

c) 精度検証

精度検証については、全横断数(177測線)の約10%に相当する19測線を地形植生条件に応じて選定し、5月実施の従来法(実測)で得られた横断線と点群から作成した横断線の双方に対し、50cm間隔で比較用の点を補間で設け、較差を部位毎に比較した(表-3)。

堤内地: 植生箇所が少なく10cm以下。

法面: 雑草の影響もほとんどなく10cm前後に収束。

堤防天端: 舗装された天端は、点群のばらつきも少なく2~3cm程度の較差に収束。未舗装箇所では約5cmの較差。

高水敷: 植生繁茂部は15cm前後の較差。植生無しの箇所は、10cm以下。

低水路: 植生繁茂部は25cm前後の較差。高水敷と異なり多種かつ密生度の高い植生の混交が影響と推察。植生

無し箇所の、高水敷と同様に10cm以下。

水部(河床)：概ね10cm程度の較差。一部30cm超えの測線もあるが、2月のALB計測に対し、5月の実測のため小規模な河床変動の影響と推測。

山付：較差は50cmを超える箇所もあり。全体的に較差が大きいのは、急峻地形のため僅かな横ズレで較差大と推測。緩斜面では良好な結果を確認。

表-3 部位毎の標高較差集計(点群-実測)

点検断面	RMS誤差									
	堤内地	法面	天端	高水敷		低水路		水部	山付	単位:cm
				植生有	植生無	植生有	植生無			
木津川37.8K	-	-	0.9	-	-	-	-	6.0	55.6	
木津川40.0K	7.6	15.0	3.7	9.3	-	7.3	-	9.9	-	
木津川42.4K	-	-	3.0	-	-	-	-	32.6	16.3	
木津川43.0K	1.5	9.7	2.1	6.8	8.8	7.5	-	5.1	-	
木津川46.0K	-	-	2.1	-	-	-	-	7.5	38.9	
木津川47.4K	-	-	-	-	-	-	-	9.2	16.8	
木津川47.8K	-	9.1	2.5	-	-	-	-	31.1	21.3	
木津川51.2K	-	-	-	-	-	-	-	6.7	24.1	
木津川52.4K	-	8.4	3.9	-	2.7	9.6	5.3	8.5	6.4	
木津川57.6K	9.7	7.5	1.4	7.1	-	13.9	4.9	17.0	-	
木津川59.0K	6.1	9.7	1.9	10.6	-	14.0	-	10.9	-	
木津川61.0K	7.9	8.1	1.2	6.4	-	8.3	4.4	9.0	-	
木津川62.0K	8.5	11.1	4.6	5.9	-	21.2	-	35.3	-	
服部川0.6K	9.4	6.0	2.9	9.5	6.4	11.0	8.5	11.5	-	
服部川1.4K	7.9	5.1	1.2	13.3	-	11.3	5.9	3.9	-	
服部川3.4K	2.6	6.0	1.7	5.3	-	20.5	-	6.6	-	
拓植川0.0K	6.6	5.7	4.8	6.5	-	13.5	4.3	8.5	-	
拓植川0.6K	7.8	6.6	2.5	15.2	-	18.1	2.7	3.3	-	
拓植川1.4K	3.6	6.4	2.8	17.0	-	23.2	4.3	15.6	-	

一方、「マニュアル(案)(P1-9)」では、三次元データを治水関連で利用する場合の許容誤差として、堤防高・堤防形状5cm程度、局所的な河床把握15cm程度、河道全体形状30cm程度、植生ボリューム50cm程度等とされている。堤防形状(法面)がやや許容値より大きいことになるが、治水を目的としたALBによる横断図の作成は落葉期かつ平水位時の計測であれば、精度の側面からは大きな問題はないと考える。

4. 水質に起因する課題 (他河川の事例と比較)

前述の結果より、管内でALBを利用する場合の課題としては想定より測深深度が浅くなり、立ち入り困難な箇所の図面更新ができなかったこと、また立ち入り可能箇所でも現地補備測量が必要となり作業手間が増えたことが挙げられる。ここでは、測深深度に影響を与える水質について他河川の事例も含め考察する。

(1) 水質調査方法

国土地理院から平成31年3月に公布された「航空レーザ測深機を用いた公共測量マニュアル(案)」において、水質と測深深度の関係性(相関)については、既存の調査事例から透明度調査と濁度調査を標準とすることが望ましいとある(表-4)。

表-4 調査方法

項目	透明度調査	濁度調査
調査方法	直径30cmの白色盤を沈め、目視できる水深を測定。	精水 1L に粘土鉱物 1mg が含まれた水を濁度 1 とし試料を比較対比。
特徴	ALBメーカー推奨法だが、ボートで深場への移動を伴い手間大。	簡易の計測機器も市販されており、調査は比較的容易。

(2) 水質と測深深度の関係

透明度と濁度について、木津川他でALBと同期して水質調査を実施した3河川の状況をイメージしやすくするため、横断測線における欠測等について整理した(表-5、図-5)。各河川の水質調査結果と調査地点近傍で欠測の始まる境界水深の関係を示す(図-6)。

表-5 横断測線上の欠測状況

項目	木津川	河川A	河川B
測量延長(km)	29.8	11.2	9.2
全横断本数(本)	177	57	44
水部平均幅(m)	38	110	42
水部欠測本数(本)	33	50	3
水部欠測平均幅(m)	35	63	41
最大測深深度(m)	2.7	2.3	8.8
透明度調査地点数(箇所)	4	5	1
濁度調査地点数(箇所)	4	5	1



図-5 計測時の水部写真

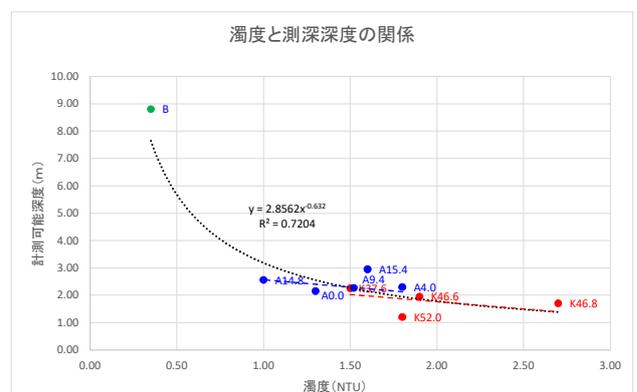
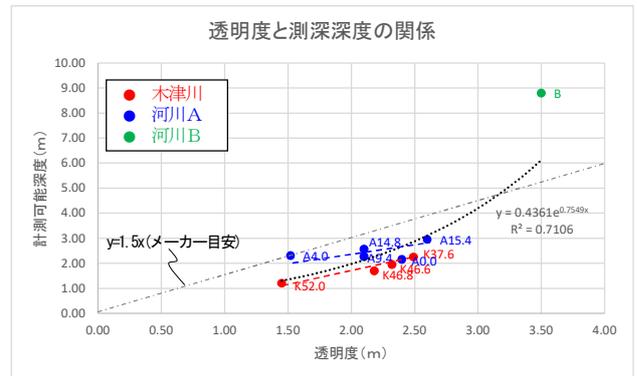


図-6 水質-水深 散布図

(2) 相関性に関する考察

3河川(10地点)の調査結果を散布図にプロット、回帰線の相関係数二乗値は、両調査ともR²≒0.7を示し比較的高い相関を示した。河川毎には対象領域も狭くなり回

帰線の傾きもそれぞれで異なる。ALBメーカーからの目安では、透明度水深の1.5倍(例：透明度2.0mならALB測深値は3.0m)まで測深可能とされるが、河川Bを除いては目安より測深は浅い結果となった。濁度については、1.0NTU付近を境界に指数的に測深深度が深くなっている。グラフにはないが0.2NTU時に15mまで測深した国内河川もある。図-5の写真からも河川Bは濁りの少ない様子が伺え、知見が増えれば現地の目視や写真より、大まか測深深度のあたりをつけることも可能と考える。

(3)補備測量に関する考察

ALBで欠測が生じた箇所は、補備測量を追加し横断面図を完成させなければならない。水質が大幅に改善すれば再度ALBで補備をすることも考えられるが、線の横断面図の作成が目的であれば、TS、GNSS等による補備が現実的となる。表-5に示す通り河川毎に補備率、測線延長も異なり、補備に必要な費用もまちまちとなる(表-6)。

表-6 標準積算より(深淺測量直接費) [単位：千円]

項目	木津川	河川A	河川B
全体	1,220	2,089	113
10km換算	409	1,865	121

この比較から、河川AのようにALBによる効果が低い河川は、陸部LP、水部従来法(線的)の併用を検討することも必要と考える(ただし、横断面測量用途以外の目的もある場合は総合的な判断が必要)。

5. 点群による横断面図作成について

(1)作図方法の現状と課題

従来(実測)測量では、構造物端部や地形変化点を現地で直接計測して作図するのに対し、点群を利用する場合は、無数のレーザ点群をパソコンモニター上で確認しながら、点群をトレースして横断面図を作成する。その場合、過年度の横断を重ね合わせ形状変化の有無を確認しながら点群を全幅トレースするのが一般化している。これは、横断面図の全幅分を新規に作成することを前提に積算されていることに起因している。また、点群が地形変化点を直接捉えていない、前述の通り一定の誤差を許容しつつ横断面図に利用等から、全幅をトレースすることは、あえて手間をかけて、やや精度低下した図面を作成することも言える(図-7)。

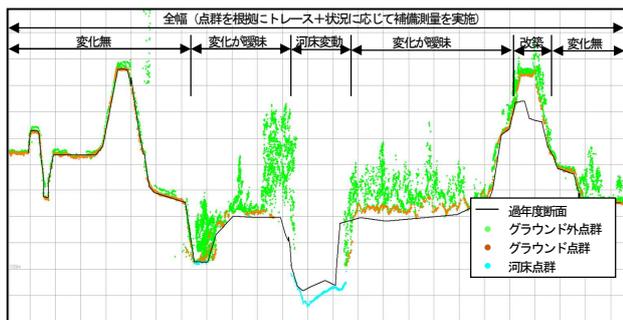


図-7 点群と過年度横断の重ね図

(2)予察による横断面図修正

航空写真測量により既存地形図を修正する場合、予察と称する工程により、既存地形図と新たに撮影した航空写真を対比して変化箇所を抽出する。これにより、修正箇所を限定し図面作成費用を軽減する効果がある。この方法を、横断面図作成に応用した場合、次の手順が考えられる(図-8)。

- ① 過年度横断線と一定幅内に存在する点群を重合させる
- ② 過年度横断線に対し誤差許容値分のバッファをとる
- ③ 数mおきにバッファ内に点群あれば変化なしと判断
- ④ 明らかに許容値を超える部分のみトレース
- ⑤ CAD上で曖昧な箇所は現地確認 or 補測を実施

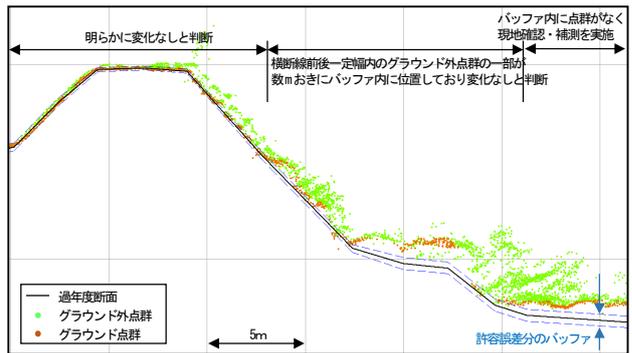


図-8 許容誤差範囲を併記した断面

これにより、横断面図作成の効率化(作図費用軽減)が可能と考える。

6. 今後に向けて

ALBへの期待が先行する状況にはあるが、その適用が相応しい河川の条件、計測のタイミング等について検討を継続していく必要があると考える。

(1)ALB計測の意義

ALBの普及に伴い、直轄以外の県管理河川等でも利用が始まっている。水質の影響はあるものの、距離標測線以外の河道状況の把握、ICT施工による浅域の河道掘削工事等、三次元的な河川管理は主流となりつつある。ALB適用の費用対効果は、各河川の事業内容を鑑み縦横断面図作成以外の利用方法を個別に検討していくべきである。

(2)リアルタイムな水質観測

ALB計測は、天候・水位・水質等の制約によりベストタイミングは極めて少ない。特に重要な水質判断は日々調査が望ましいが現実的ではない。水情報国土では、水質テレメーターの閉局が目立つ。テレメーターの復活により、ALB実施時期を年間通して検討したり、計測実施日(時間)判断を的確にできると考える。

(3)関係機関との調整

落葉、水位の関係から一般的には冬期のALB計測が望ましいとされるが、湯水期の河道掘削工事、ダム放流等が水質に影響を及ぼす場合もある。関係機関との情報共有、調整により、水質条件のよい日を誘導できないか

と考える。また、業務期間の縛りにより最適な水質条件を待たずに実施している可能性もある。業務仕様の柔軟な変更も測深深度の増大に寄与すると考える。

(4) UAV-ALB 技術の適用

令和元年度には、各地整に UAV 搭載の ALB が配備された。原理は有人ヘリコプター搭載のものと同じであり、対象範囲、計測条件によって両機を使い分けることも必要と考える。

7. おわりに

木津川上流管内では、ALBを河川定期縦横断測定の代替法として採用したが、現地補備測量を伴い最大限効果的な活用には至らなかった。ALBを代替した他河川の例についても記したが、河川の水質が大きく影響し、その効果はまちまちで統一的な見解を見いだせていない。

しかしながら、「河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)」の施行により、河川管理への点群データ利用をALB以外の三次元計測技術も含め、今後継続的に進めていく必要もある。BIM/CIMの推進のためにも、俯瞰的に周辺技術、その動向を眺め河川管理の高度化に取り組んでいきたい。

謝辞：本稿の作成に協力頂きました、中日本航空株式会社の各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 河川管理用三次元データ活用マニュアル(案), R2.2, (国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室)
- 2) 河川縦横断測量における ALB の活用について, H29.7, (平成 29 年度近畿地方整備局研究発表論文集【新技術・新工法部門 : No.13】)

川上ダム建設事業における CIM構築とその活用事例

馬場 貴裕¹・鈴木 敦²

¹独立行政法人水資源機構 川上ダム建設所 調査設計課 (〒518-0294三重県伊賀市阿保251)

²水管理・国土保全局 水資源部 水資源計画課 (〒100-8918東京都千代田区霞が関2-1-3)
(前 独立行政法人水資源機構 川上ダム建設所 調査設計課長)

川上ダム建設事業では、これまでにi-Construction & ManagementのベースとなるCIMの構築を行ってきた。このCIMでは、蓄積してきた地形、地質及び構造物データを3次元化し、この3次元モデルに建設工事に関する施工管理データ等の属性情報を付与することにより、建設時の施工管理支援ツールとして活用するとともに、将来的には施設の維持管理に資することを目的としている。現在、データ管理方法や活用方法について試行錯誤を重ねているところである。

本稿は、川上ダム建設事業で構築しているCIMについて紹介するとともに、これまでのCIMの活用事例をダム事業者並びにダム管理者の視点で報告するものである。

キーワード コンクリートダム, CIM, 施工管理, データベース

1. はじめに

川上ダムは、洪水調節、流水の正常な機能の維持及び水道用水の確保を目的とし、三重県伊賀市の淀川水系木津川左支川前深瀬川に独立行政法人水資源機構が建設中の堤高84m、堤頂長343mの重力式コンクリートダムである。2019年9月より堤体コンクリート打設を開始し、まさに建設最盛期となっている。2021年度には試験湛水を開始し、2022年度末の事業完成を予定している。

2. 川上ダムCIMの概要

CIM (Construction Information Modeling/Management) とは、計画、調査、設計段階から3次元モデルによるデータ管理を導入することにより、その後の施工、維持管理の各段階においても3次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設システムの効率化・高度化を図ることを目的とするものである。

川上ダム建設所では、本体建設工事着工前の2017年7月より、「建設」から「管理」への継承を見据えたCIM構築に取り組んでいる。

現段階では、川上ダム本体建設工事が最盛期を迎えるなか、主に施工管理支援ツールとしてCIMを運用・改良

しているところである。

(1) 3次元モデルの作成・統合

川上ダムCIMのプラットフォーム(システム基盤)には、汎用性の高いAutodesk社の製品群(図-2)を使用している。工事の進捗に伴い施工業者により図面の修正・更新や施工記録の作成が行われ、頻繁に図面や施工情報の加工を行う必要があるため、CIMへの取り込みがしやすいソフトウェアを選定している。



図-1 川上ダム完成イメージ

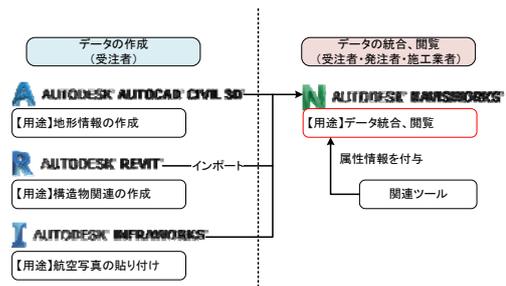


図-2 川上ダムCIMのプラットフォーム

(2) 用途に応じた統合モデル

個別のCIMモデルを組み合わせ、作作用途に応じてCIMモデル全体を把握できるようにしたものを「統合モデル」と呼ぶ。ダムにおけるCIMは、土木構造物や建築物、電気通信・機械設備など対象が広範であり、容量が大きい地形モデルや航空写真も統合されているため、PCの操作性が低下する。そのため、用途によって必要な情報のみを抽出し組み合わせた「統合モデル」を作成することとした。

例えば、図-3は、堤体基礎の岩級スケッチ図と基礎処理工（2020年4月までの実績）を組み合わせた「統合モデル」のイメージであり、立体的に止水性の確認が行える。このように、用途に応じて容量を小さくすることによって、一般的に処理能力の低いタブレット端末でも扱いやすくなり、現場施工管理で活用可能となる。

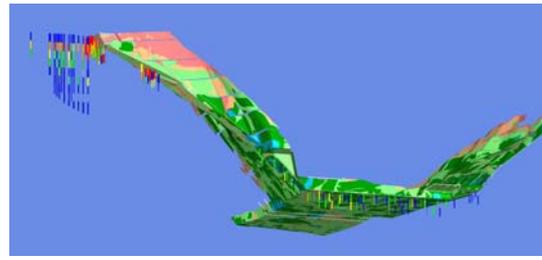


図-3 統合モデル（基礎処理工）のイメージ

表-1 基礎処理工モデルの凡例

着色 (RGB)	ルジオン区分	単位注入セメント量
赤 (255, 0, 0)	20<Lu	300<Ce
橙 (255, 128, 0)	10<Lu≤20	100<Ce≤300
黄 (255, 255, 0)	5<Lu≤10	50<Ce≤100
緑 (0, 255, 0)	2<Lu≤5	10<Ce≤50
青 (0, 0, 255)	Lu≤2	Ce≤10

(3) データベース設計

調査、設計、施工、維持管理の各段階で作成されたデータは、属性情報として3次元モデルに付与する。属性情報は、管理項目により保存方法を以下の2種類に分けて設計することとした。

① 日常管理・定期検査関連データ（直接付与）

日・月・年単位で行われる日常管理と地震時や出水時に行われる臨時点検を含む日常管理、3年ごとに行われる定期検査において必要となるデータは、3次元モデルへの「直接付与」（図-4）にて管理する。これは、同一ソフトウェア上でデータの閲覧が可能であり、取り扱いがしやすい特徴が有る。

② ダム総合点検関連データ（外部参照）

30年程度ごとに行われるダム総合点検で必要となるデータは、長期的な保存とその蓄積データ量の大きさから、3次元モデルと紐づけたデータストア（フォルダ構成）を構築し、「外部参照」（図-5）といった形式で管理する。

ダム建設段階では、施工時の出来形管理、品質管理、施工管理、写真管理等が対象となり、フォルダ構成はダム工事誌を参考とし、データは「施工管理基準に該当する情報」と「維持管理を見据えて格納する情報」の二つに分け、維持管理移行後にデータ選別を即座に行えるよう配慮した。

属性情報の参照例として、掘削面の3次元モデルに堤体基礎の地質スケッチ図を貼り付け、立体に表現したモデルを図-6に示す。

また一方で、堤体打設工では、日々打設されるコンクリート品質を容易に確認することが出来るとともに、維持管理段階において堤体からの漏水等不具合が起きた際に効率的にデータを照会できるといった効果が期待される。

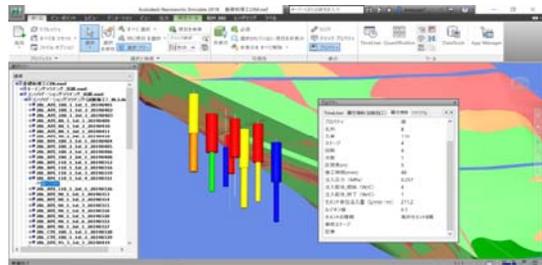


図-4 直接付与によるデータ閲覧



図-5 外部参照によるデータ閲覧

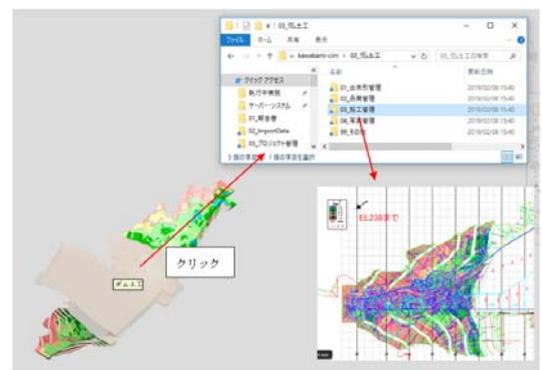


図-6 属性情報の参照

(4) データ共有手法

今回の川上ダム建設事業におけるCIMの構築にあたっては、クラウドストレージサービスを利用したデータ共

有を行った。

CIM構築にあたり、施工データの量は膨大であり、従来どおりのメールやデータ転送サービスでの共有は、ファイルの分割・結合作業に伴い非効率かつ即時性に欠ける。また、履歴管理が煩雑となり、データの誤りが生じる可能性が高い。そこで、データ交換にクラウドストレージサービス（以下、「クラウド」という）を利用し、一つのサーバーに川上ダム建設所及びCIM業務受注者（以下、「CIMチーム」という）、本体建設工事JV（以下、「JV」という）、その他関連業務・工事業者がアクセスし、アップロードやダウンロード、編集などを行える環境を整備した。

データのバージョン（履歴）管理は、一般的に、一定期間内の履歴が保持される「日数管理」と所定の上書き回数は無期限に保持される「世代管理」があり、ダム建設事業は長期に渡ることから、データの復元に有利な「世代管理」を行えるクラウドを選定した。

3. CIM活用事例

CIMは、設計、施工管理、維持管理、広報・景観検討など様々な場面での活用が期待される。川上ダムでは、日々、基礎処理工やコンクリート打設が行われており、多くの施工データが蓄積され、CIMとしても本格的に運用が行われている。以下では、これまでCIMを川上ダム建設事業で活用した事例を示す。

(1) 設計面での活用

a) 3次元モデル化による効果

川上ダムは、本体建設工事着工前にCIMを導入しているダムであり、発注図面を元に3次元モデルの作成を行ってきた。モデル化作業による効果として、2次元図面の不整合のチェックや図面からでは読み取りにくい箇所の形状確認などが挙げられる。例えば、図-7は、堤体導流壁と堤体コンクリートのジョイントとの交差部に施工する目地鋼板の位置を示した図である。このような、図面からでは読み取りにくい情報を事前に施工業者と共有することにより、施工における手戻りを未然に防ぐことができる。

b) 異業種工事間の取り合い調整

ダムは、土木構造物のみならず建築物、電気通信・機械設備等対象物が広範であることが特徴であるが故に、異業種工事間の取り合い調整でCIM活用が有効である。

例えば、図-8の様に、利水放流設備の設計段階において、土木構造物と機械設備の異業種工事間の取り合いについて、平面図では複雑に重なり合った箇所を3次元モデルから感覚的に読み取ることができる。任意の断面を表示する機能により、土木と機械の境界部分の「見える

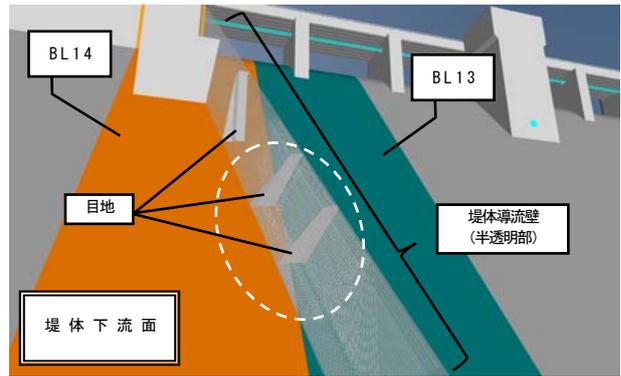


図-7 図面からでは読み取りにくい形状確認

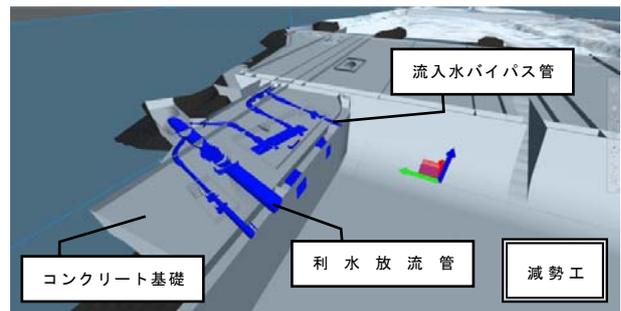


図-8 利水放流設備基礎部の形状確認

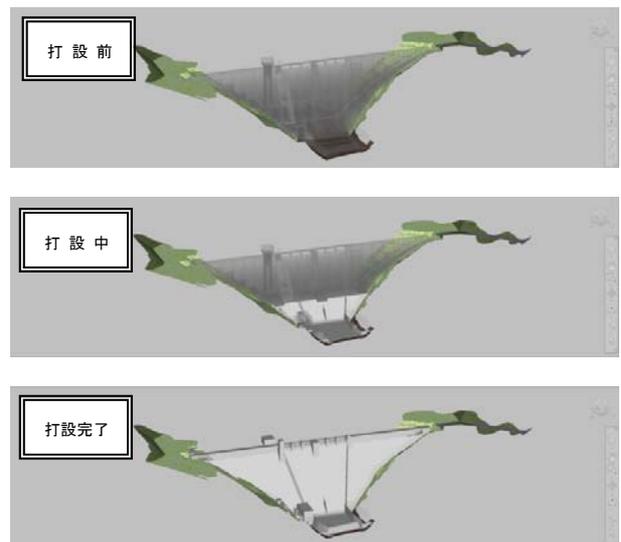


図-9 堤体打設工4次元モデル

化」を実現した。

(2) 施工管理面での活用

a) 施工進捗管理の高度化

これまで、川上ダム建設所とCIMチーム、JVの三者間で、クラウドを利用したCIMデータの共有や施工・品質管理データの記録内容や更新頻度などについて基礎掘削工、基礎処理工、堤体打設工など工種毎に協議を行ってきた。

堤体打設工ではCIMチームが作成した基礎掘削地形や

堤体工モデルをもとに、JVが打設計画を検討し、その計画から施工日に合わせた打設工程（リフト割）を作成している。

図-9は、リフトごとに打設の時間情報を付与した4次元モデルである。このモデルにより、堤体打設スケジュールと電気通信・機械設備などの関連工事を含む施工進捗管理を包括的に行うことが可能となった。

(3) 広報・景観検討における活用

a) 広報ツールとしての活用

構築した3次元モデルを利用し、スマートフォンで簡易的なVR（仮想現実）体験が出来る広報ツールを作成した。現場内広報施設に設置したパネル（図-10）からスマートフォン等でQRコードを読み取り、建設現場と対比しダム完成後の状況を仮想体験できる場を設けた。図-



図-10 川上ダムVR広報用パネル



図-11 VRのイメージ

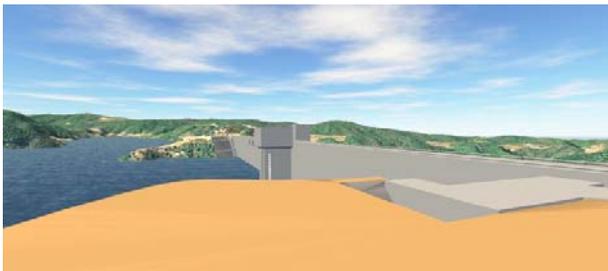


図-12 ダム管理棟からの眺望

11の様に、2画面表示し専用のゴーグルから覗くと立体に見ることが出来る。

現場見学会や住民説明の場では、言葉やパネルでは表現しきれないリアルな川上ダムを見せることができ、地元関係者への事業説明や一般見学会での理解の助けになっている。

b) 景観検討

3次元モデルを活用し、季節や日照・気象条件を設定し任意の視点場から景観検討を行うことが可能である。

「川上ダム周辺整備懇談会」においては、周辺整備計画地点である右岸天端広場の管理棟からの眺望（図-12）を示した。

(4) 維持管理における活用

建設段階で構築されたCIMを試験湛水も含めた維持管理にも活用するためにはデータストアの構築を现阶段から構想していく必要があると考えている。その一つとして、航空レーザ測量等により得られた3次元地形モデルを活用することで試験湛水直前の地形を正確に把握することにより、より精緻な貯水容量が得られるとともに、維持管理後の堆砂測量データとの差分を捉えることで堆砂進行状況の可視化が可能となるものと考えている。

また、施工で得られたデータを逐一にデータストアへ保存しておくことにより、試験湛水時のデータ参照時においても即時性が発揮される。さらに、管理ダムにおける点検データを蓄積していくことで、ダム総合点検でも活用されるシステムになるように進めていく必要があると考えている。

4. おわりに

現在、構築したCIMを用いて、図面の不整合のチェックや異業種工事間の施工調整等といった設計面だけではなく、広報活動での支援ツールや景観イメージ等にも活用を図っている。ダム施工で得られる技術情報を属性情報として取り入れることで、試験湛水時の迅速な対応や、将来のダム管理に活用出来る基礎データを収集していきたい。

一方で、建設段階で構築されたCIMを継続的に活用していくためには、引き続きCIMデータの管理や更新を行っていかねばならない。効果的に活用するためにもCIMを扱える専門的なスキルを修得した職員を育成していくことも必要であると考えている。

参考文献

- 1)国土交通省：CIM導入ガイドライン（案）．第1編共通編，第4編ダム編
- 2)国土交通省：設計－施工間の情報連携を目的とした4次元モデルの考え方（案）

流域下水道における 下水道圧送管路調査について

小西 達也

兵庫県 県土整備部 土木局 下水道課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

下水道圧送管路は、従来の調査手法では管路内面の目視調査が困難な状況であったが、下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）によって新たな調査技術が確立された。本県の揖保川流域下水道圧送管路（たつの市および宍粟市）において、その調査技術を採用した結果、管路内面の調査結果は全箇所とも「健全」であったが、机上スクリーニングにより腐食危険推定箇所を限定することができたため、今後はより効率的な維持管理が期待できる。

キーワード 下水道, 新技術, 維持管理

1. はじめに

兵庫県では4流域6処理区で流域下水道事業を実施している。1963年に猪名川流域下水道を兵庫県管理の流域下水道として供用開始して以来、県民の生活を支えてきたが、処理場やポンプ場、下水道管きよ等の施設の老朽化が大きな課題となっている。

特に下水道管きよのうち、圧送管路についてはこれまで調査手法が無く、管路内面の目視調査が困難な状況であった。2017年度にようやく圧送管路の調査技術が確立され、2018年度に本県の揖保川流域下水道において、その技術を用いた調査を実施したため、本論文で調査の実施内容と結果について考察する。

2. 揖保川流域下水道の概要

揖保川流域下水道は姫路市、たつの市、宍粟市、太子町の下水を集約し、揖保川浄化センターで処理を行っている。2018年度末時点の処理面積は6,840haで県下流域下水道6処理区中2番目に大きく、処理人口は184,700人で最少となっている。高濃度のBOD、SS、窒素分が含まれる皮革排水を処理していることが特徴で、処理方式は酸素活性汚泥法および活性汚泥変法を採用している。全幹線管きよ延長は52.8kmであり、そのうち約4.6km（揖保川幹線4.1km、右岸第1幹線0.5km）が圧送管路区間となっている。（図-1）

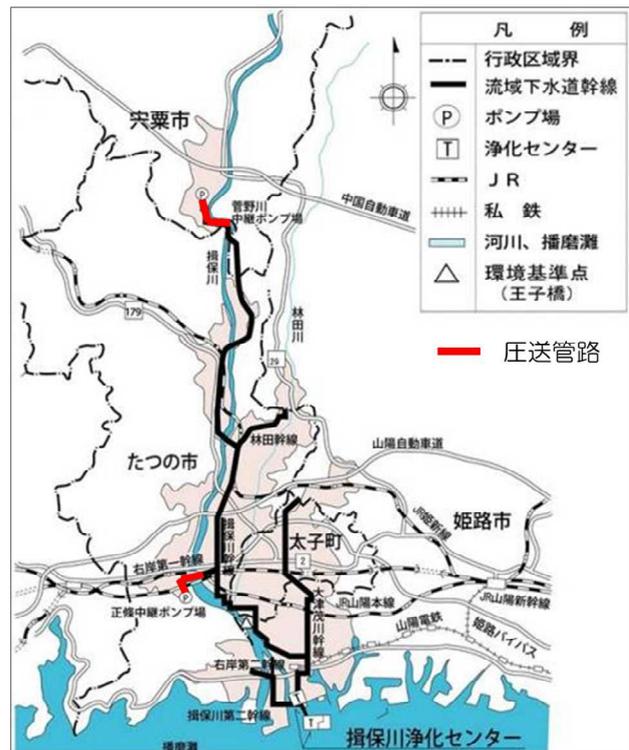


図-1 揖保川流域下水道事業管内図

3. 下水道圧送管路について

(1) 下水道圧送管路とは

下水道では自然流下管きよにて下水を流下することを基本としている。しかし、管きよを埋設する道路等が流下勾配と逆勾配の場合や河川を上越し・伏越しする箇所、

起伏の激しい地形や家屋が点在する箇所など下水を持ち上げる必要がある場合は、圧送管路を採用することがある。また、圧送管路には、途中で下水を流入させる必要がなければ長距離送水が可能といったメリットもある。

逆にポンプで下水を圧送しているため、管路が破損しやすく、下水の溢水や道路陥没等の大事故に直結しやすい。また、点検口となるマンホールの代わりに、負圧防止や空気溜まり防止のための空気弁(図-2)を設けるが、開口部の口径が75mmと小さく、従来のテレビカメラ調査等では管内の腐食状況を把握できないことも大きなデメリットである。

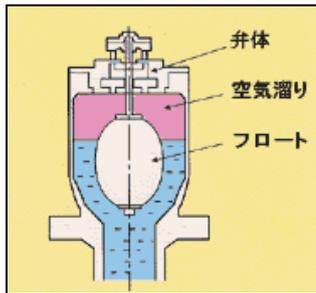


図-2 空気弁模式図¹⁾

(2) 下水道圧送管路の腐食メカニズム

下水道圧送管路では、ポンプの間欠運転時に下水の管内滞留時間が長くなることで嫌気(無酸素)状態が進行し、硫酸イオンが硫酸塩還元細菌によって還元され、硫化物が生成される。その硫化物は硫化水素として圧送管路からの吐出し先であるマンホール等で空気中に放散され、硫黄酸化細菌によって硫化水素から硫酸が生成されることで、通常はマンホールや下流の自然流下管きよのコンクリート部で硫酸腐食を引き起こす。

しかし、圧送管路内に気相部が存在し、新鮮な空気の出入りがある等の条件が重なると、その気相部周辺で硫化水素が放散され、生成された硫酸により圧送管路本体が腐食し、破損することで漏水や道路陥没事故が発生する。(図-3)

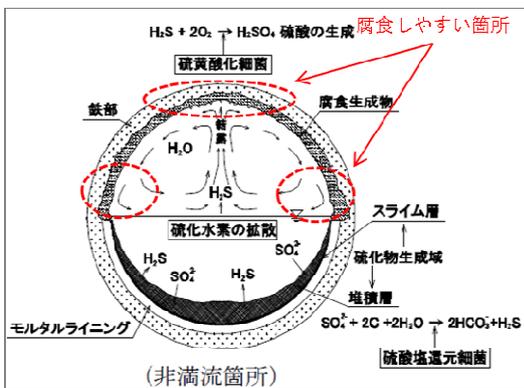


図-3 腐食危険推定箇所例(断面図)²⁾

(3) 揖保川流域下水道圧送管路における課題

揖保川流域下水道における圧送管路内面調査は、これまで調査技術が確立されておらず、他に優先度の高い自然流下管きよの調査箇所があったため、後回しとなっていた。しかし、圧送管路の数百m下流の自然流下管きよで硫酸腐食による道路陥没事故が発生したことなどから、圧送管路においても早急に管路内面の腐食状況を把握する必要があった。

4. 下水道圧送管路の調査技術と調査導入結果

(1) 下水道圧送管路の調査技術について

国土交通省の下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)において、下水道圧送管路の効率的な維持管理を目的とした「下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術」が採択され、官民連携によって実証研究が進められており、2017年度にガイドライン(案)が策定されている。本県では圧送管路内面の目視調査を可能にした技術に着目し、本調査技術を採用した。

調査には2ステップあり、1ステップ目は机上スクリーニングである。管路縦断面図に動水こう配線を引き、それよりも高い位置にある圧送管路は管内に気相部があり、ポンプ稼働時でも非満流であると判断する。また、吐出し先のマンホールとの接続部も非満流となるので、これらの箇所を圧送管路における腐食危険推定箇所と判断する。(図-4)

2ステップ目は腐食危険推定箇所と判断された箇所の現地調査である。調査には今回開発されたガイド挿入式カメラ(図-5、写真-1)を使用する。標準で口径75mmの開口部しかない空気弁等からでも管路内面の目視調査が可能で、上下流方向に30m、管頂側約180°の範囲で撮影することができ、撮影動画や画像はリアルタイムで確認できる。ガイドが設置・移動できない狭小な箇所や下水が30mm以上滞留する箇所、急な曲がりのある箇所では撮影範囲が5m程度に限られる挿入式カメラ(図-6、写真-2)を代用する。

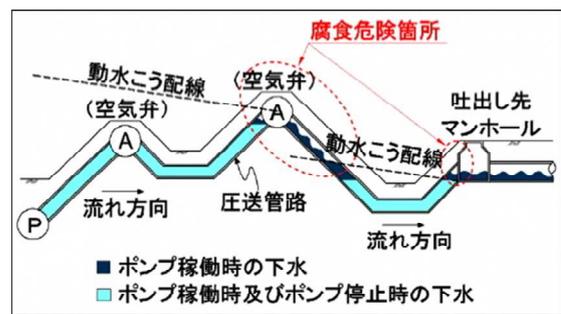


図-4 腐食危険推定箇所例(縦断面図)³⁾

現地調査の手順であるが、ポンプを停止させて空気弁から下水が溢水しないか等、腐食危険推定箇所周辺が安全に作業できる環境であることを確認する。安全であれば空気弁や吐出し先のマンホールからガイド挿入式カメラを挿入して管路内面の腐食状況を視覚的に確認し、最終的に劣化度のランク分けを行う。実際の現場作業状況は写真-3、4のとおりである。

本調査技術では机上スクリーニングで腐食危険推定箇所を限定することができ、これらの箇所のみを現地調査するため、効率的かつ効果的な調査が可能である。



写真-2 挿入式カメラ²⁾

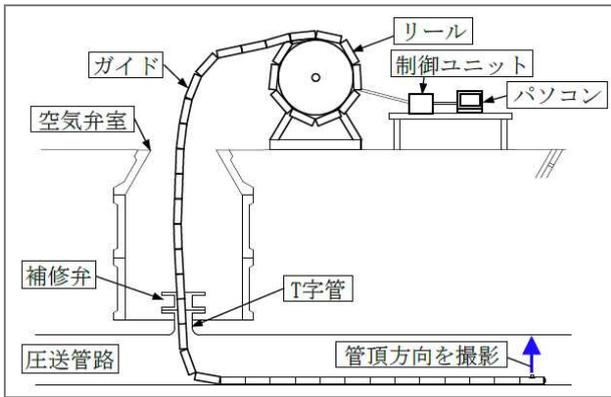


図-5 ガイド挿入式カメラ模式図²⁾



写真-3 ガイド挿入式カメラ調査状況



写真-1 ガイド挿入式カメラ²⁾



写真-4 挿入式カメラ調査状況

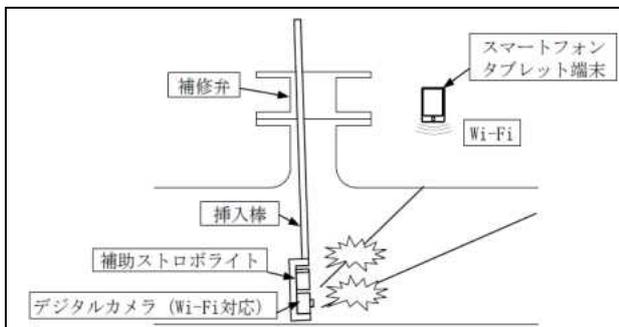


図-6 挿入式カメラ模式図²⁾

(2) 揖保川流域下水道における調査内容

揖保川流域下水道においては、揖保川幹線および右岸第1幹線の圧送管路全区間を対象に調査を実施した。机上スクリーニングの結果、14箇所が腐食危険推定箇所と判断されたが、そのうち6箇所が動水こう配線より上部に位置する箇所であり、残りが揖保川を横断する水管橋の空気弁部であった。図-7、8は机上スクリーニングにより腐食危険推定箇所を抽出した管路縦断面図の一部例である。現地調査では14箇所のうち2箇所のみでガイド挿入式カメラによる調査を行い、残りの水管橋等の箇所では挿入式カメラを代用した調査を実施した。

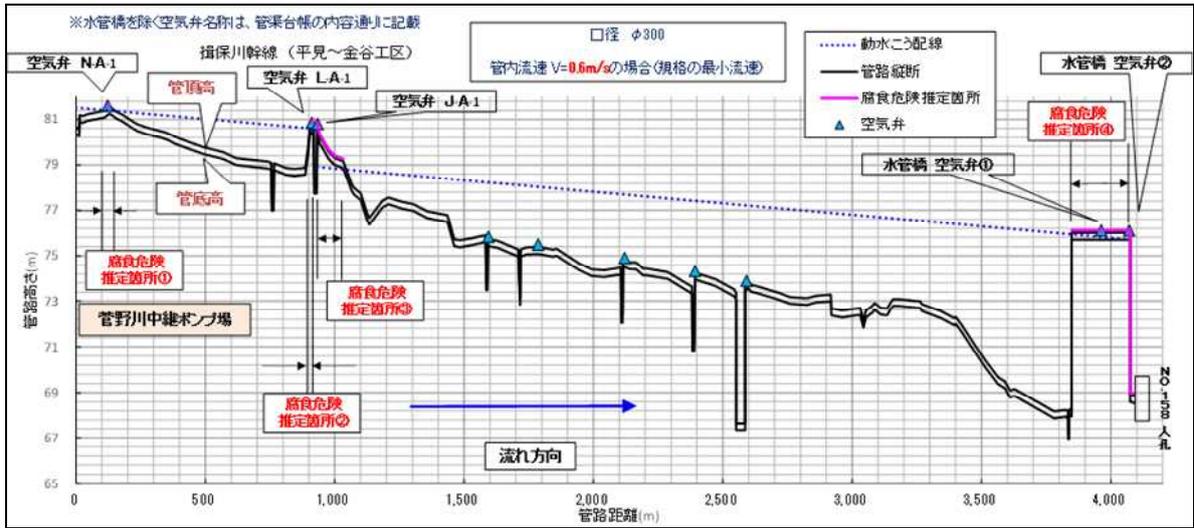


図-7 揖保川幹線管路縦断面図 (φ300区間) 腐食危険推定箇所

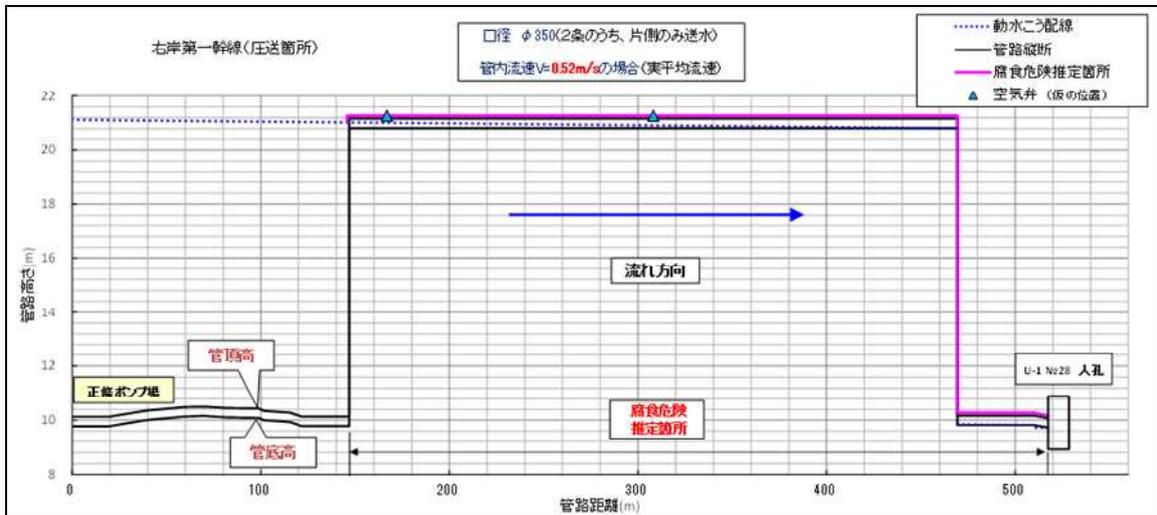


図-8 右岸第1幹線管路縦断面図 (φ350区間) 腐食危険推定箇所

(3) 調査結果と考察

写真-5, 6のとおり、管路内面に付着物やカビ等は見られるものの、内面塗料剥離等の異常はなく、全箇所とも「健全」という判定結果であった。比較対象として他自治体の硫酸腐食事例を掲載している。(写真-7, 8)

地中埋設部は空気弁が常時全閉で空気の入りがなく一般環境下であったこと、耐食性に優れているエポキシ樹脂粉体塗装であったこと、揖保川幹線についてはポンプ場に設置した酸素発生装置から送られる酸素によって好気状態であったことが硫酸腐食防止につながったと考えられる。

一方、水管橋部は空気の出りがある腐食環境下であり、耐食性が劣るタールエポキシ樹脂塗装であったが、ポンプ稼働時にはほぼ満水状態となり、短いサイクルで管路内面が洗い流されていたことが硫酸腐食防止につながったと考えられる。また、空気弁の年2回のエア抜き等の点検、水管橋部の月1回の点検などの日常的な維持管理も圧送管路を健全な状態に保つことができた要因だと考えられる。



写真-5 ガイド挿入式カメラ調査画像 (管頂部)

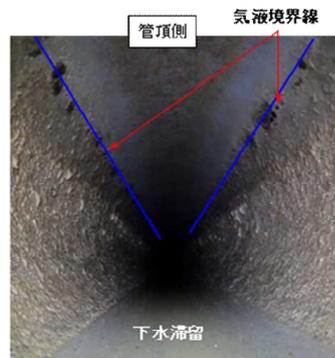


写真-6 挿入式カメラ調査画像

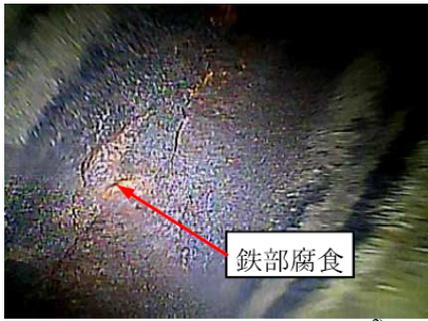


写真-7 他自治体硫酸腐食事例①²⁾

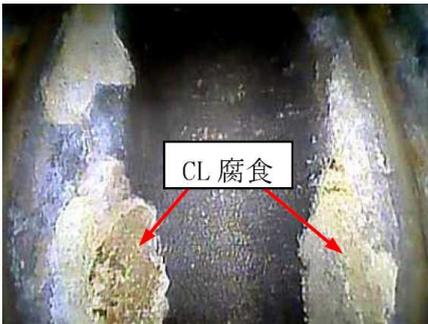


写真-8 他自治体硫酸腐食事例②²⁾

5. おわりに

本調査における反省点は、机上スクリーニング時に管路縦断面図に頼りすぎたことで、圧送管路の平面線形を十分に把握できていなかったことである。その結果、横方向の曲がりに弱いガイド挿入式カメラで調査できる箇所が少なく、多くの箇所では挿入式カメラを代用することになった。

しかし、これまで一度も確認できていなかった圧送管路内面の目視調査を実施できた点や、机上スクリーニングで調査箇所を絞り込めたことで今後はより効率的な維持管理が可能になった点は評価できる。

また、下水処理時に発生する汚泥を汚泥処理場等に輸送する送泥管は大半が圧送管路となっており、管路内面の目視調査はほとんど実施できていない状況であるが、本調査技術の活用が可能であると考えられる。本県では2018年度より、公益財団法人日本下水道新技術機構との共同研究で兵庫西流域下水汚泥広域処理場の送泥管調査を進めており、本調査技術による圧送管路内面調査を予定している。この研究によって、調査が可能であることを確認できれば、送泥管においても下水道圧送管路と同様に、効率的な維持管理が可能となる。

今後も調査技術等の進歩が想定されることから、積極的に情報収集等を行い、それらの活用を通じて、県民への安定した下水道サービスの提供に努めていく。

参考文献

- 1) 下水道圧送管路研究会 HP「下水用空気弁・バルブ」
<http://www.assouken.gr.jp/>
- 2) 国土技術政策総合研究所 HP「下水道圧送管路における硫酸腐食箇所の効率的な調査技術導入ガイドライン(案)」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryuu/tnn/tnn1012.htm>
- 3) 株式会社クボタ HP「下水圧送管路調査」
<https://www.kubota.co.jp/product/ironpipe/products/technology/survey/>

避難路沿道に存するブロック塀の耐震診断義務付けの検討における沿道画像及び機械学習を用いた対象ブロック塀の調査方法について

山本 聡志¹

¹兵庫県 県土整備部まちづくり局 都市政策課 (〒650-8567 神戸市中央区下山手通 5 丁目 10 番 1 号)

2019年1月1日に改正施行された建築物の耐震改修の促進に関する法律施行令において避難路沿道に存する一定規模以上のブロック塀に対して地方公共団体が耐震診断を義務付けることが可能となった。これを受け、地方公共団体では、対象ブロック塀の調査を行い、耐震診断の義務付けを行うか否かの検討を行うこととなったが、対象ブロック塀の調査において、google ストリートビュー等の沿道画像を機械学習により分類し、迅速に対象ブロック塀が写る画像を抽出する方法を本論文において提案する。

キーワード ブロック塀、耐震診断義務付け、IT、沿道画像、機械学習

1. はじめに

2018年6月18日に発生した大阪府北部地震では、ブロック塀の倒壊により、大阪府内で2名の方が死亡するという、大変痛ましい災害となった。

大阪府北部地震のブロック塀の被害を受けて、2019(平成31)年1月1日に改正施行された建築物の耐震改修の促進に関する法律施行令(以下、「施行令」という。)では、避難路沿いに存する一定規模以上のブロック塀に対して、地方公共団体が耐震改修促進計画に位置づけることにより、耐震診断を義務付けることが可能となった。

この改正を受けて、全国の地方公共団体では管内の避難路沿いに存するブロック塀の耐震診断を義務付けるか否かの検討を行うこととなった。

2 ブロック塀の耐震診断義務付けの検討における対象ブロック塀の調査方法

(1) 一昨年度実施した調査方法と課題

兵庫県耐震改修促進計画においては、地震発生時に通行を確保すべき道路として緊急輸送道路(兵庫県地域防災計画において全長約2,800kmを指定)を位置づけ、沿道の耐震化を進めている。

前述の施行令の改正を受け、兵庫県では、ブロック塀の耐震診断義務づけの検討において、当該緊急輸送道路沿いに存するブロック塀を対象に、道路を閉塞する可能性のあるもの(以下、「対象ブロック塀」という。)の有無について調査を行った。

調査方法は、迅速に実施できる方法として、パソコン上でGoogle ストリートビュー(以下、単に「ストリートビュー」という。)を用いて、緊急輸送道路の沿道画像を視認する方法を用

いた。

ストリートビューにおいて対象ブロック塀を確認した場合は、ブロック塀の画像が写っているパソコン画面のスクリーンショットを取り、画像としてデータベースへ保存することにより、検討材料として整理していった。

なお、ストリートビューの画像では、個々のブロック塀の形状を確認でき、横方向に何列並べられているか、上下方向に何段積まれているかを確認できる解像度を有しているため、ブロック塀の規模を画像から確認できる。(図 1 参照) (一般的な建築用のブロック塀は 1 個あたり幅約 40cm、高さ約 20cm となっている。)



図 1 ストリートビューにおけるブロック塀のある沿道画像

これらの方法により、2018 (平成 30) 年度において、幅員 8m 未満の緊急輸送道路(約 87km)を調査し、今年度においても引き続き検討を行っているところである。(幅員 8m 以上の部分については、過去に一定の調査を行っていたため、一昨年度の調査では幅員 8m 未満に限定して調査を行った。)

これらのストリートビューを用いた調査については、現地に行くよりも短時間で対象ブロック塀の有無について調査できるという長所があるものの、路線の延長が長くなればその分、当然ながら沿道の画像を確認するという単純作業に長い時間を要するという課題がある。

(2) 提案する調査方法について

そこで、沿道画像に対象ブロック塀が写っているか否かを自動的に判別できないかという発想をし、人工知能等の情報科学分野について調べる中で、機械学習を用いて沿道画像を分類するという調査方法を考案したため、本論文において提案する。

沿道画像とは、前述のストリートビュー上の画像等を示すが、必ずしもストリートビューの画像に限らない。詳しくは後述する。

機械学習とは、コンピュータ上において、明示的な指示を用いることなく、特定の課題を効率的に実行するために作成されたアルゴリズム(プログラム)であるが、その機能により、意図した特定の被写体が写る画像を自動的に選別するということが可能となる。

機械学習には、「教師あり学習」、「教師なし学習」、「強化学習」の分類があるが、特定のブロック塀が写っている画像を抽出するという目的に適した「教師あり学習」を用いることを前提とする。

「教師あり学習」とは、正解値などのラベルが付与された学習用のデータを利用して、学習済みモデルを作成し、推論時にラベルのないあらたなデータに対して分類や予測をおこなうもの¹⁾である。

今回の調査方法においては、用意した学習用の沿道画像について、必要に応じて画像のサイズを合わせるといった前処理を行ったうえで、対象ブロック塀(例えば高さ 1.6m 以上のブロック塀)が写っている画像と写っていない画像に対して、それぞれ事前に「対象」、「対象外」というようにラベルを付け、それらを機械学習のアルゴリズムに学習させ、対象ブロック塀が写る画像を判断する学習モデルを作成する(学習フェーズ)。そして、学習が終了した学習モデルを用いて、新たな調査用の沿道画像に対して、対象ブロック塀を自動的に予測・判別する(評価フェーズ)ことになる。(図 2 参照)

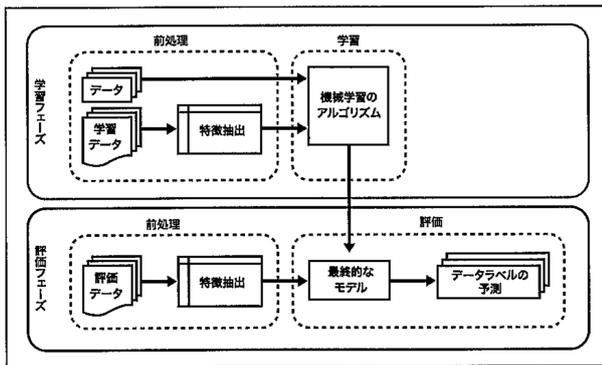


図2 機械学習の一般的な処理の流れ²⁾

3 提案する調査方法の詳細

(1) 学習用及び抽出用の沿道画像の入手方法

学習用及び調査用の沿道画像データの入手については、まず、検討対象とする路線のストリートビューの画像を一括して取得する方法を検討した。しかし、かつてウェブサービス³⁾で実施できた形跡は確認できたものの、現在では Google API を用いなければ取得できなくなっていると考えられ、ストリートビューの画像を一括して取得するまでには至らなかった。

そのため、ストリートビューの画像以外に、検討対象となる沿道画像を入手する方法を検討した。なお、以降の検討内容は、画像入手方法に時間を要するため、調査全体で見ると昨年度実施したストリートビューによる調査よりも短時間で実施できるものではない。ただし、画像を用意した後の抽出作業が迅速化されるものと考えている。

具体的な内容としては、ドライブレコーダーのデータを活用する方法である。ドライブレコーダーは、基本的には動画にて録画されるが、動画を分割して画像とすることができる無償のソフトウェア (VLC media player 等) があり、これらを用いて分割された画像を用いて、沿道の画像を入手することが可能となる。

ドライブレコーダーでの録画は、当然検討対象となる道路を通行することにより実施していくことになるが、調査担当部署で行うか、通

常の業務と兼ねて、県内の土木事務所の道路パトロール担当や建築パトロール担当に、ドライブレコーダーのデータを取得しておくよう依頼することも有用と考える。

このようにして入手して取得した沿道画像の一部を学習用として用い、対象ブロック塀の有無をラベリングした後に学習させ、その後、調査用の画像を読み込ませて対象ブロック塀が写る画像を抽出することを想定している。

(2) 機械学習の方法

機械学習の方法としては、画像処理において様々な機能を持ち、画像データの機械学習を行うことが可能な無償のソフトウェアライブラリである OpenCV を用いることを検討した。

OpenCV の使用には、プログラミングの知識が必要となるが、機械学習の開発において多く用いられているプログラミング言語である python を使用し、OpenCV において用意されているライブラリを用いて教師あり学習を試みようとしたが、本論文執筆時点で実装には至らなかった。

4 まとめ

(1) 提案する調査方法に対する考察

上記のドライブレコーダーによる画像入手方法により一部の検討対象道路の沿道を取得したものの、ソフトウェアライブラリを使用し、実際に機械学習を用いて、対象ブロック塀が写る沿道画像を分類するまでには至らなかったが、上記方法を検討したことを共有することとする。

これは、冒頭の施行令の改正を受け、現在全国でブロック塀の耐震診断義務付けの検討が求められている現状があるためである。

この検討において、もちろん避難路の現地へ行き、対象ブロック塀の有無を確認していく方法が一番確実な方法とは考えるが、なるべく時

間と労力をかけずに、対象ブロック塀を確認する方法として本調査方法を提案する。

また、今回実装に至らなかった学習用モデルの作成は、全国で検討を行っていることを考えると、国の研究機関等で学習モデルを作成し、全国へ配布することも考えられる。

筆者は、情報科学の分野を独学で学習し始めた程度であるため、専門家が作成すれば、判別精度の高いものが作成されることも想定される。

そうならば、避難路沿いに存するブロック塀の耐震診断義務付けの検討が、迅速に行えることになると考えている。

(2) 沿道画像による建築物等の調査について

今回は、ブロック塀に対する沿道画像と機械学習による調査方法の提案であったが、建築物は建築基準法第 43 条により原則として道路に面する敷地内に建築されていることを考えると、建築物本体の調査においても、沿道画像と機械学習を用いる調査が一定有用になると考えている。

機械学習を用いれば、防災対策や景観施策の検討対象となる特定の建築物等（例えば、耐震診断義務づけの対象となる一定高さ以上の建築物本体、老朽危険空き家、景観形成地区内の建築物群、屋外広告物）の沿道画像を抽出することが可能となり、これらの建築物の調査においても、調査が迅速に行うことが可能になると考えているため、この分野の研究の進展を望んでいる。

参考文献

- 1) 独立行政法人情報処理推進機構 AI 白書編集委員会 著「AI 白書 2020」(株)角川アスキー総合研究所、2020 年、「表 2-2-2 学習の手法の 3 分類」
- 2) Michael Beyeler 著、池田聖、浦西友樹、中島悠太、森尚平、山添大丈、山本豪志朗訳 「OpenCV と Python による機械学習プログラミング」(株)

マイナビ出版、2018 年、P39「図 2.1 機械学習の問題解決のための一般的な処理の流れ」

3) 「Google Maps Streetview Player」(最終閲覧日：2019 年 11 月 18 日)

<http://www.brianfolts.com/driver/>

i-Constructionの普及・促進について ～効率的な建設生産・管理システム構築に 向けたモデル事務所での取組～

本村 洋介¹・太田 衛司²

¹豊岡河川国道事務所 工務第二課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

²京都国道事務所 (〒600-8234京都市下京区西洞院通塩小路下る南不動堂町808) .

豊岡河川国道事務所は、平成31年3月に決定したi-Constructionの取組をリードするモデル事務所(全国10事務所)であり、集中的かつ継続的に3次元データを活用することで、効率的な建設生産・管理システム構築を目指し、段階モデル確認書(豊岡オリジナル版)の検討、3次元データの契約図書化に向けた検討、i-ConstructionやBIM/CIMの普及、促進を目的とした広報活動などを行った。これらの取組内容や取組を通じて確認できた効果や課題等について、報告する。

キーワード i-Construction, BIM/CIM, 建設生産・管理システム, 3次元モデル

1. はじめに

建設業界は、他産業に比べ、就業者の高齢化が進んでおり、今後、少子高齢化の加速による更なる高齢化が想定され、また、休日や職務内容などの労働環境も他産業に比べ厳しく、若手が入職・定着しづらい状況にある。

このような建設業界の現状を踏まえ、国土交通省では、労働者の減少を上回る生産性向上を目的とした生産性革命を行う『i-Construction』の取組として、ICT施工や施工時期の平準化などの様々な取組を行っている。

豊岡河川国道事務所は、平成31年3月に決定したi-Constructionの取組をリードするi-Constructionモデル事務所(全国10事務所)である。(図-1)



図-1 全国のi-Constructionモデル事務所

i-Constructionモデル事務所は、事業プロセスの改善に取り組み、建設生産・管理システム全体の効率化に向け、調査・設計から維持管理までBIM/CIMを活用し、3次元データの活用やICT等の新技術の導入を加速化させる『3次元情報活用モデル事業』の実施と、集中的かつ継続的に3次元データを活用することで、事業の効率化を目指す。

『3次元情報活用モデル事業』には、豊岡河川国道事務所の「門山川中郷遊水地整備事業」と「北近畿豊岡自動車道豊岡道路」が位置づけられている。

本稿では、i-Constructionモデル事務所である豊岡河川国道事務所での効率的な建設生産・管理システム構築に向けた取組内容や取組を通じて確認できた効果や課題等について、報告する。

2. BIM/CIMの概要と取組の主眼

これまで建設業(土木)では、2次元の紙の図面が主流となっているが、製造業などでは3次元の電子データ(3次元モデル)を活用して生産性を向上させている。同様に建設生産・管理システムでも、対象とする構造物等の形状を3次元で立体的に表現した「3次元モデル」を活用すれば、生産性の向上が期待でき、さらに3次元モデルに「属性情報」(部材等の名称、形状・寸法、物性及び物性値(強度等)、数量、維持管理に必要な情

報など)を結びつけ、生産性の向上のみならず品質の向上も期待されている。

この3次元モデルに各種の情報を結びつけ利活用していくことをBIM/CIM (Building / Construction Information Modeling, Management) という。(図-2)

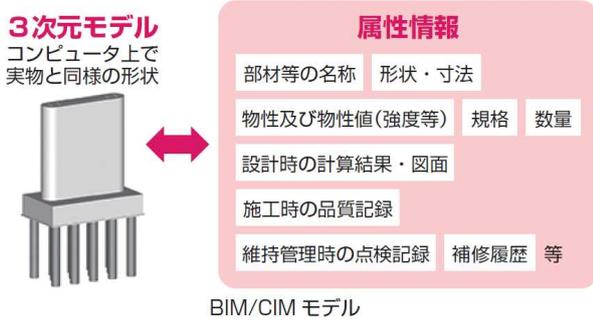


図-2 BIM/CIMモデル概念図

調査・計画・設計段階からBIM/CIMモデルを導入し、その後の施工、維持管理の各段階においても、情報を充実させながらこれを活用し、事業全体にわたる関係者間で情報を共有することにより、一連の建設生産・管理システムにおける受発注者双方の業務効率化・高度化を図っていく。

「円山川中郷遊水地整備事業」と「北近畿豊岡自動車道豊岡道路」は、両事業とも、過年度に2次元の詳細設計が完了し、現在、施工段階にある。このことから、当事務所では、施工段階で活用できる3次元データの作成を行い、3次元データの品質確保、業務効率化、その後の維持管理の高度化につなげることを主眼に置き、3次元データの品質確保が期待される「段階モデル確認書の検討」、効率的な3次元データ流通の基礎になると考える「3次元データの契約図書化」を中心に検討を実施し、BIM/CIMモデル構築検討を行った。

3. 段階モデル確認書(豊岡オリジナル版)の検討

BIM/CIM活用業務・工事において、「段階モデル確認書を活用したBIM/CIMモデルの品質確保」を活用する実施項目として選択した場合に、段階モデル確認書を用いることになる。

1) BIM/CIM活用における「段階モデル確認書」作成手引き【試行版】(案)(以下「手引き」という)において、段階モデル確認書は、業務・工事を実施する際の一連のプロセスにおいて、データ連携のプロセス、確認すべき情報やその要件を示したもので、事業を実施する受発注者間でデータ連携の手順や方法を明らかにするために作成するものとなっており、業務・工事開始前に、発注者が作成し、受注者に提示することとなっている。

(図-3)

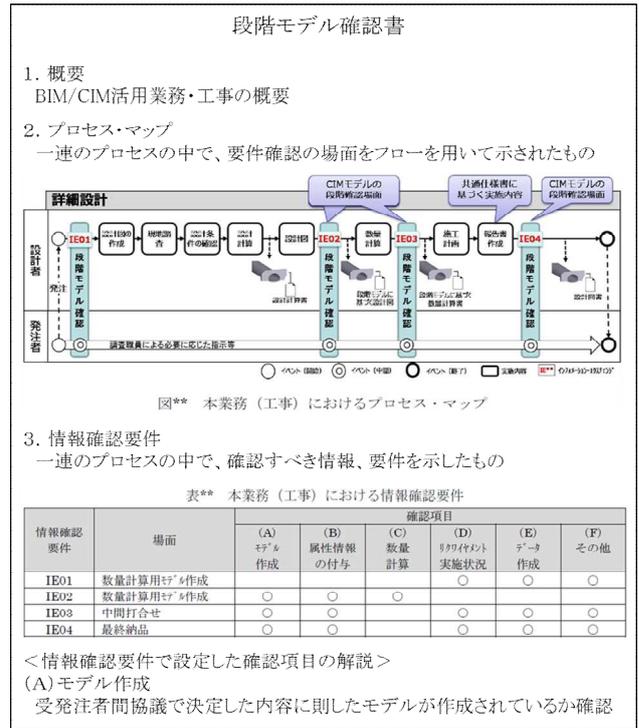


図-3 段階モデル確認書の雛形イメージ

手引きでは、この段階モデル確認書の活用により以下の効果(課題)が上げられている。

- ① 業務・工事における事業の一連の流れで、データ連携のタイミングや連携すべき情報を受発注者間で共有できる。(⇒現状、どのようなプロセスで、どのような情報が作成・引継がれたか把握が困難)
- ② 発注者から受注者への要求事項(以下「リクワイヤメント」という)を具体化でき、受発注者双方が、何を求められており、何を実施すべきか明確に把握することが可能。(⇒現状、発注者から受注者へのリクワイヤメントに対し、具体的な要求内容が不明)

(1) 現状の課題

発注担当者は、事業の各段階で適切な時期に必要な確認を行う必要がある、手引きでも概ねの確認時期や情報確認要件は雛形で例示されているが、具体的に各段階でどのような確認をすればいいのかまでは示されていない。

例えば、(A)モデル作成では、「内容に則したモデルの作成を確認」となっているが、実際の確認において、初回時は与条件確認(地形モデルや設計モデルの有無など)が必要であり、途中段階では不整合箇所の確認が必要と考えられるが、それが明記されていない。また、各情報確認条件はどのような目的で確認が必要なのか明記されていない。

実際に活用しようとした際に、何のために、何を、どのように確認すればいいのかわからず、活用しづらい

という課題が生じた。

(2) 段階モデル確認書（豊岡オリジナル版）の作成

段階モデル確認書の活用は、フロントローディング（前工程で負荷をかけ、集中的に検討することで、後工程で生じそうな手戻り等を未然に防ぐ）となり、3次元データの品質確保に資することから、上記の課題を踏まえ、誰もが手戻りを未然に防ぐ確認ができるよう、豊岡河川国道事務所オリジナルの段階モデル確認書（以下「段階モデル確認書（豊岡オリジナル版）」という）を作成（図4）することとし、段階モデル確認書（豊岡オリジナル版）では、手引きにある雛形から以下の点の改良を加えることとした。

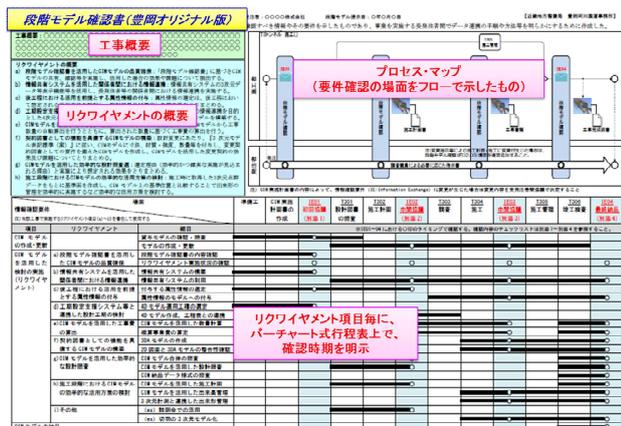


図4 段階モデル確認書（豊岡オリジナル版）

a)各項目毎に確認する時期を明示

BIM/CIM活用業務・工事では、建設生産・管理システムにおける受発注者双方の業務効率化・高度化を図るために活用するリクワイアメント項目を設定し、実施することとなっているが、このリクワイアメント項目毎に、バーチャート式行程表上で、どの段階で確認すればいいのかわかるよう、確認時期を明示した。

b)チェックシート作成

BIM/CIM活用において、後工程での手戻りを未然に防ぐために、受発注者が各段階で（いつ）、どのような確認をしなければならないかを具体化したチェックシートを作成した。（図5）



図5 段階モデル確認書（豊岡オリジナル版） チェックシート

(3) 期待される効果と今後の方針

段階モデル確認書（豊岡オリジナル版）の作成、活用により、確認時期や確認内容が明確となり、BIM/CIM活用の場面で、受発注者間で円滑かつ確実な情報確認ができ、手戻りを未然に防ぐことで、建設生産・管理システム全体の業務効率化やBIM/CIMモデルの品質確保に繋がることが期待される。

今後は、今回作成した段階モデル確認書（豊岡オリジナル版）をBIM/CIM活用業務・工事で活用しながら、業務改善効果や課題を整理し、段階モデル確認書（豊岡オリジナル版）の改善を図っていく。

4. BIM/CIMモデルの構築検討

(1) 3次元モデル詳細度の整理

2) CIM 導入ガイドライン（案）第1編 共通編では、BIM/CIMモデル詳細度の定義は、図6のとおり示されている。

詳細度	共通定義	【参考】工種別の定義例	サンプル
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	構造物（山岳トンネル）のモデル化 対象構造物の位置を示すモデル（トンネル）トンネルの配置が分かる程度の矩形形状もしくは線状のモデル	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現、または各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスイープさせて作成する程度の表現。	構造形式が確認できる程度の形状を有したモデル（トンネル）計画道路の中心線形とトンネル標準横断面モデル化。坑口部はモデル化せず位置を示す。	
300	附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形状を正確に表現したモデル。	主構造の形状が正確なモデル（トンネル）避難通路などの拡張部の形状をモデル化する。検討結果を基に適用支保パターンをパターン化し、記号等で必要範囲をモデル化する。坑口部は外形寸法を正確にモデル化する。舗装構成や排水工等の内空設備をモデル化する。箱抜き位置は形状をパターン化し、記号等で設置範囲を示す。	
400	詳細度 300 に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造および配筋も含めて、正確にモデル化する。	詳細度 300 に加えてロックボルトや配筋を含む全てをモデル化（トンネル）トンネル本体や坑口部、箱抜き部の配筋、内装、支保パターン、補助工法の形状の正確なモデル化。	
500	対象の現実の形状を表現したモデル。	設計・施工段階で活用したモデルに完成形状を反映したモデル	-

図6 BIM/CIMモデル詳細度の定義

3次元情報活用モデル事業となっている北近畿豊岡自動車道豊岡道路では、過年度の設計業務において、従来の2次元による設計に加え、おおそ詳細度 200 の3次元モデルを作成していた。

施工段階においても、BIM/CIMモデルの活用を行うていくためには、より詳細なモデル作成が必要と考えられる。モデル詳細度もレベルが上がれば、よりきめ細かなモデルを作成する必要があり、作成コストもかかる。維持管理段階での活用も踏まえ、どの程度のモデルを作成すべきかは総合的に検討する必要があり、検討に時間も要することから、まずは、段階的に詳細度 300 のモデ

ル構築を行うこととした。

(2) 3次元モデルの作成

過年度の2次元設計の線形情報や2次元図面（横断面など）を3次元ソフトウェアに読み込み、3次元空間に2次元図面を配置し、詳細度300の3次元モデルを作成した。（図-7）

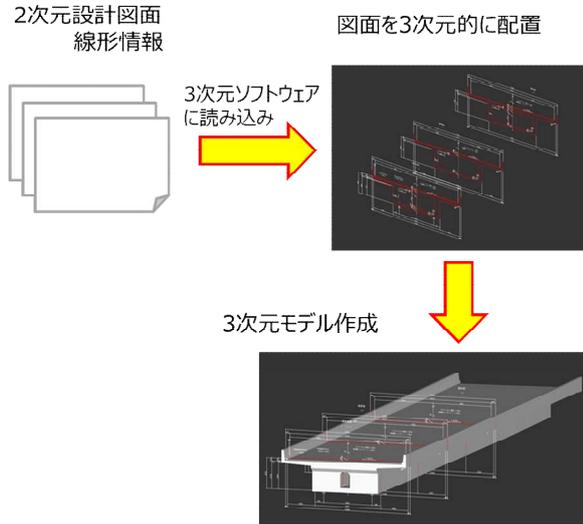


図-7 3次元モデル作成の手順

作成した3次元モデルにより設計の検証を実施したところ、橋台背面と土工部の間で隙間が生じている箇所や、橋梁検査路と土工の干渉などいくつかの不整合が確認された。（図-8）2次元図面と正確に一致する3次元モデルを作成したことで、2次元図面間（土工部と橋梁）の不整合が見つかり、施工段階で発覚する手戻りを未然に防ぐ効果も確認できた。

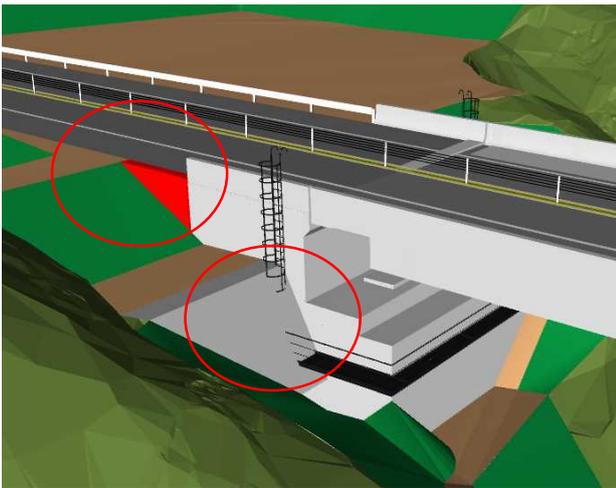


図-8 2次元図面と3次元モデルの不整合の例

(3) 属性情報の付与

形状・寸法、施工時の品質記録、維持管理に必要な情報などの属性情報を3次元モデルに結びつけ、一連の建設生産・管理システムにおける業務効率化・高度化を図

る。

② CIM導入ガイドライン（案）第1編 共通編では、構造物の部材の諸元や数量等のデータを定型化し、ソフトウェアの機能により「3次元モデルに直接付与する」方法と、文書や図面のように非定型な情報を外部参照のファイルとして参照（リンク）し「3次元モデルから外部参照する」2つの方法が示されている。（図-9）

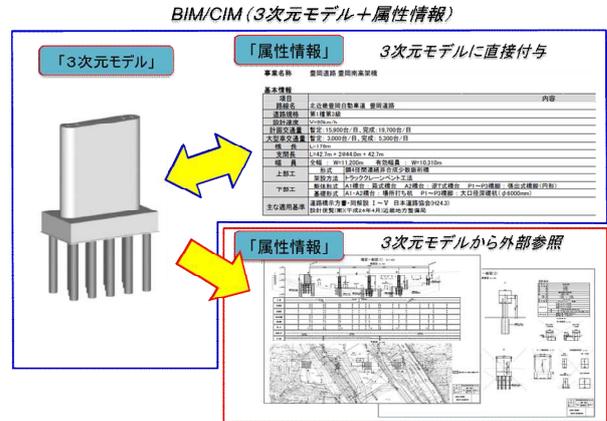


図-9 属性情報の付与方法のイメージ

「3次元モデルに直接付与」した場合、属性情報も3次元モデル上で一元的に管理できる利点があるが、BIM/CIMモデル自体のデータが大きくなることや、現状の3次元ソフトウェアは属性を直接付与する機能が充実していないため、文章や図面のような非定型な情報を直接付与することが難しいと考えられたため、「3次元モデルから外部参照する」方法で、属性情報の付与を行い、BIM/CIMモデルの構築を行った。

今後は、リンク切れの検証や効率的な維持管理が出来るよう、必要となるデータ（設計・施工時の情報、点検記録等）の整理、情報の取り出し方などの検討を行っていく。

5. 3次元データの契約図書化に向けた検討

建設生産・管理システム全体での3次元データの活用を促進させ、BIM/CIM活用業務・工事での3次元データの契約図書化の実運用による更なる効率化に資することを目的に、3次元データの契約図書化に向けた検討を行った。

現状は、寸法、注記情報等が記載された2次元図面が契約図書として位置づけられており、受発注者間で2次元図面（契約図書）と3次元モデル（参考資料）の両方のデータの流通を強いられている。この結果、3次元モデルとは別に2次元図面を作成する必要が生じており、さらには、2次元図面と3次元モデル間の整合性確認といった作業が発生し、生産性向上を阻害する一因となって

いる。また、将来的には、建設生産プロセスで一貫して3次元モデルのみを流通・利活用できることが望ましいが、現在は3次元データ利活用の過渡期であり、現行形式の2次元契約図書に対応した方法も検討の必要があると考えた。

以上の現状を踏まえ、以下の3点での検討を行った。

- ① 3次元モデルから3次元データの契約図書を作成する方法（将来形）
- ② 2次元図面から3次元データの契約図書を作成する方法（従来の設計から将来形を作成）
- ③ 3次元モデルから2次元図面の契約図書を作成する方法（現行の契約形式）

(1) 3次元モデルから3次元データの契約図書を作成する方法

作成した3次元設計モデル上に直接、寸法線などを配置する方法で行った。

この方法は、2次元図面の作成が不要となる。また一方で、3次元ソフトウェアを用い、作業者が直接寸法線等を表記する作業が必要で、2次元CADによる寸法線入力作業よりも煩雑であるため、その作業に多大な労力を要することや、2次元設計がある場合には2次元図面との整合性の確認が必要となること、変更契約時にも、同様の作業が必要となるといった課題が確認できた。

(2) 2次元図面から3次元データの契約図書を作成する方法

2次元設計の線形情報や2次元図面（横断図など）を3次元ソフトウェアに読み込み、3次元空間に2次元図面を配置し、3次元モデルを作成し、3次元モデル上に2次元図面を重ねて表示する方法で行った（前4章で作成したBIM/CIMモデル）。寸法線等は、読み込んだ2次元図面の寸法線がそのまま表示されるため、寸法線等の表記作業は不要となる。

この方法は、多くの3次元ソフトウェアで実施可能で、前4章でも述べている2次元図面と3次元モデルとの整合性の確認にも利用でき、従来の2次元図面をベースとするため、契約変更時にも必要となる修正作業も対応しやすいという利点を確認できた。また一方で、従来の2次元図面を必要とし、2次元図面と3次元モデルの2重で図面作成しなければならないという課題は残った。

(3) 3次元モデルから2次元図面の契約図書を作成する方法

3次元モデルから2次元図面を電子データで出力し、出力した2次元図面に、従来と同様な方法で、2次元CADを用いて、契約図書として必要となる寸法線等の表記する方法で行った。

この方法では、契約図書として必要となる箇所を選定を行った上で2次元図面の出力や寸法線等の表記に要す

る作業手間や、出力した2次元図面と元の3次元モデルが整合性の確認など必要であることと、2次元図面と3次元モデルの2重で図面作成しなければならないという課題が確認できた。

(4) 3次元データの設計図書化の各作成手法の検討まとめ

今回は、3次元データ利活用の過渡期であり、現行制度の2次元契約図書に対応しておくことも踏まえ、③3次元モデルから2次元図面の契約図書を作成する方法も検討したが、2次元図面の出力や寸法線等の表記に要する作業手間、2次元図面と3次元モデルの2重で図面作成しなければならないという課題はあり、建設生産・管理システム全体で一貫して3次元データの活用を目指すという目的から逸れてしまうことになる。

①②の3次元データの契約図書を作成する2つの方法においても、3次元データに、直接寸法線等を表記する作業が生じ、その作業量が多大であることが生産性向上という面でも大きな課題である。

今後は、今回検討の課題からも、容易に寸法線等の表記ができる機能などの3次元ソフトウェアの機能向上や実務者の習熟が望まれる。また、3次元データが契約図書となることを前提とした契約図書の在り方や契約図書として必要な3次元モデル詳細度、3次元データの照査方法などの検討も必要となってくる。

6. 広報活動

豊岡河川国道事務所は、i-Constructionの取組をリードするモデル事務所の目的を果たすため、i-ConstructionやBIM/CIMの普及、促進を目的に、勉強会や事務所主催イベントを実施した。

(1) 勉強会の実施

当事務所や近隣事務所の職員、工事・業務受注者、当事務所管内にある地元建設業者、地方公共団体を対象に、H31(R1)年度に2回の勉強会を実施した。

参加者のアンケートからは、「定期的に行ってほしい」、「難しそうというイメージがあったが、少し前向きな気持ちになり、小さなところからチャレンジしてみたい」など前向きな感想が多く見受けられた。

一方、参加者の年代別分布（図-10）から、参加者は40代～50代の中核やベテランとなる技術者が多く、次世代を担う20代の若手技術者が少ないことがわかった。今後も、勉強会を継続し、若手技術者にも参加いただける取組となるよう、改善を図っていく。

勉強会参加者(94名)
年代別分布

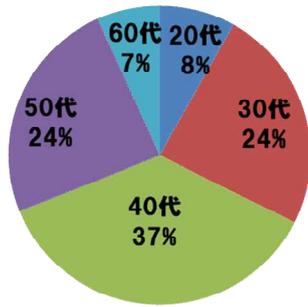


図-10 BIM/CIM勉強会参加者の年代別分布グラフ

(2) 広報イベントの実施

これからの将来を担う子どもたちや地元の方々をターゲットに、円山川中郷遊水地整備事業地で、広報イベントを実施した。

このイベントは、将来を担う子どもたちへ向け、建設業界の仕事に興味を持ってもらいたいとのコンセプトで、豊岡河川国道事務所の若手職員が主体となって企画・調整し、イベント名を「あたらしいどぼくのせかい」と名付けた。イベント内容は、円山川中郷遊水地整備事業に関連する施工受注者の協力も得ながら、実際の施工現場で使われているICT建設機械やUAV（ドローン）のデモ、災害対策車両等の展示、3次元モデルの操作体験、コンクリートクラフトなどのブースを設置した。（図-11）

全体で約150名の参加があり、参加者からのアンケートから、「子どもが喜んでいたり」「3Dモデル体験は、実際に運転している感覚でおもしろかった」など少なからずの興味を引くことができたと感じている。

今後も、広報活動イベントを実施し、より多くの方から参加いただけるよう戦略的な広報を考えていく。



図-11 「あたらしいどぼくのせかい」 イベント会場マップ

7. その他の取組

本稿では詳述しないが、他にも維持管理段階も見据え必要な属性情報の整理や3次元ソフトウェア間の互換性の整理、情報共有システムの活用検討なども行った。

その中でも、情報共有システムの活用検討において、実際に複数のWeb会議システムを使い、使用比較を行った。この取組は、打合せに伴う移動時間の削減や遠隔での打合せが可能で、生産性向上に加え、新型コロナウイルスのような感染症対策としても有効であったことが確認できている。

8. まとめと今後の取組方針

効率的な建設生産・管理システム構築を目指す取組の中で、2次元図面と3次元モデルの2重で図面作成しなければならないことや3次元データの契約図書化にあたり、3次元データへの寸法線等の表記作業に多大な労力を要している課題などがあり、ソフトウェアベンダーも含めた業界全体での課題解決への取組が必要である。

今後は、引き続き、段階モデル確認書（豊岡オリジナル版）の改善検討、3次元データの契約図書化の検討・試行、将来の維持管理を踏まえた3次元モデルの必要詳細度の検討、i-ConstructionやBIM/CIMの普及、促進を目的とした広報活動を行う。また、4Kカメラを使ったAIによる岩判定の基礎データ収集及びトンネル切羽3Dモデルを維持管理へ引き継ぐ検討も予定している。

i-Constructionモデル事務所として、建設業界の生産性向上、効率的な建設生産・管理システム構築に向け、積極的に不断の改善に取り組んでいき、明るい建設業界の未来への一助になればと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課「BIM/CIM 活用における「段階モデル確認書」作成手引き【試行版】（案）」、令和元年5月
- 2) CIM 導入ガイドライン（案）第1編 共通編、令和元年5月

太田 衛司

（現所属： 近畿地方整備局 京都国道事務所）

本稿は従前の所属である豊岡河川国道事務所における所掌内容をもとに執筆したものである。